



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Terrassa

Manual d'assaig de màquines elèctriques

Maria Ortiz Bonet

Director: Ricard Horta Bernus

10 de juny de 2013

Resum	14
Resumen	14
Abstract.....	14
MEMÒRIA	15
CAPÍTOL 1: OBJECTIUS I ABAST	16
1.1– DESTINATARI.....	16
1.2– ENUNCIAT DEL PROJECTE	16
1.3 – OBJECTIU DEL PROJECTE	16
1.4 – LIMITACIONS	17
CAPÍTOL 2: ANTECEDENTS	17
2.1 – CONDICIONANTS INICIALS EXISTENTS	17
CAPÍTOL 3: DESENVOLUPAMENT TÈCNIC	18
3.1 – PLACA DE CARACTERÍSTIQUES I PLACA DE BORNES	18
3.2 .- ASSAJOS A REALITZAR EN ELS TRANSFORMADORS.....	18
3.2.1 – Mesura de les resistències dels debanats.....	19
3.2.1.1 – Objectius específics	19
3.2.1.2 – Llistat de material.....	19
3.2.1.3 – Procediment d’assaig	19
3.2.1.4- Resultats obtinguts	21
3.2.2 – Mesura de la relació de transformació	23
3.2.2.1 – Objectius específics	23
3.2.2.2 – Llistat de material.....	23
3.2.2.3 – Procediment d’assaig	24
3.2.2.4 – Resultats obtinguts.....	25
3.2.3 – Mesura de les pèrdues i del corrent de buit	28
3.2.3.1 – Objectius específics	28
3.2.3.2 – Llistat de material.....	28
3.2.3.3 – Procediment d’assaig	29
3.2.3.4 – Pèrdues obtingudes.....	30
3.2.3.5 – Resultats obtinguts.....	31
3.2.4 – Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega	47
3.2.4.1 – Objectius específics	47
3.2.4.2 – Llistat de material.....	47
3.2.4.3 – Procediment d’assaig	48
3.2.4.4 – Pèrdues obtingudes.....	49
3.2.4.5 – Resultats obtinguts.....	50
3.2.5 – Assaig d’escalfament.....	66
3.2.5.1 – Objectius específics	66
3.2.5.2 – Llistat de material.....	68
3.2.5.3 – Procediment d’assaig	69
3.2.5.4 – Resultats obtinguts.....	71
3.2.6 - Obtenció dels paràmetres característics d’un transformador	84
3.2.6.1 – Circuit equivalent d’un transformador.....	84
3.2.6.2 – Resultats obtinguts.....	90
3.2.6.3 - Diagrama fasorial en buit d’un transformador	106

3.2.6.4 – Resultats obtinguts.....	107
3.2.7 – Fulla de càlcul per a un transformador monofàsic.....	123
3.2.8 – Fulla de càlcul per a un transformador trifàsic.	128
3.3 – ASSAJOS A REALITZAR EN LES MÀQUINES SÍNCRONES.....	131
3.3.1 – Mesura de les resistències	131
3.3.1.1 – Objectius	131
3.3.1.2 – Llistat de material	131
3.3.1.3 – Procediment d'assaig	132
3.3.1.4 – Resultats obtinguts.....	133
3.3.2 – Assaig en circuit obert.....	133
3.3.2.1 – Objectius	133
3.3.2.2 – Llistat de material	134
3.3.2.3 – Procediment d'assaig	135
3.3.2.4 – Resultats obtinguts.....	136
3.3.3 – Assaig de curtcircuit permanent	137
3.3.3.1 – Objectius	137
3.3.3.2 – Llistat de material	137
3.3.3.3 – Procediment d'assaig	138
3.3.3.4 – Resultats obtinguts.....	139
3.3.4 – Assaig amb factor de potència zero	141
3.3.4.1 – Objectius	141
3.3.4.2 – Llistat de material	142
3.3.4.3 – Procediment d'assaig	142
3.3.4.4 – Resultats obtinguts.....	143
3.3.5 – Obtenció de les pèrdues d'una màquina síncrona segons normativa	146
3.3.5.1 – Objectius	146
3.3.5.2 – Llistat de material	147
3.3.5.3 – Procediment d'assaig	148
3.3.5.4 – Resultats obtinguts.....	152
3.3.6 – Obtenció dels paràmetres característics d'una màquina síncrona	154
3.3.6.1 – Circuit equivalent d'una màquina síncrona.....	154
3.3.6.2 – Resultats obtinguts.....	157
3.3.7 – Fulla de càlcul d'una màquina síncrona	161
3.4 – ASSAJOS A REALITZAR EN UNA MÀQUINA ASÍNCRONA	164
3.4.1- Mesura de les resistències de l'estator	164
3.4.1.1 – Objectius	164
3.4.1.2 – Llistat de material	164
3.4.1.3 – Procediment d'assaig	165
3.4.1.4 – Resultats obtinguts.....	166
3.4.2 – Assaig de buit o de rotor lliure	166
3.4.2.1 – Objectius	166
3.4.2.2 – Llistat de material	166
3.4.2.3 – Procediment d'assaig	167
3.4.2.4 – Resultats obtinguts.....	168
3.4.3 - Assaig de rotor bloquejat.....	169
3.4.3.1 – Objectius	169
3.4.3.2 – Llistat de material	169

3.4.3.3 – Procediment d'assaig	169
3.4.3.4 – Resultats obtinguts.....	170
3.4.4 – Obtenció de pèrdues en una màquina asíncrona	171
3.4.4.1 – Pèrdues a considerar segons normativa	171
3.4.4.2 – Procés d'obtenció de les pèrdues en una màquina asíncrona	172
3.4.4.3 – Resultats obtinguts.....	174
3.4.5 – Obtenció dels paràmetres característics d'una màquina asíncrona	175
3.4.5.1 – Circuit equivalent d'una màquina asíncrona.....	175
3.4.5.2 – Resultats obtinguts.....	179
3.4.6 – Fulla de càlcul d'una màquina asíncrona	180
3.5 – DESCRIPCIÓ DEL MATERIAL UTILITZAT EN EL LABORATORI	183
3.5.1 – Aparells de mesura	183
3.5.2 – Maquinària i dispositius restants.....	188
CAPÍTOL 4: SEGURETAT.....	195
4.1 – INTRODUCCIÓ.....	195
4.2 – L'ACCIDENT ELÈCTRIC	196
4.3 – EL CONTACTE ELÈCTRIC	200
4.4 – PREVENCIÓ I/O PROTECCIÓ D'ACCIDENTS ELÈCTRICS	201
4.5 – RECOMANACIONS BÀSIQUES A SEGUIR EN UN LABORATORI ELÈCTRIC.....	201
CAPÍTOL 5: NORMATIVA	205
5.1 – NORMATIVA.....	205
ANNEXES.....	206
CAPÍTOL 1: TRANSFORMADORS	207
1.1 – ASSAIG DE MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS	207
1.1.1 - Estudi d'errors en la mesura de les resistències dels debanats d'un transformador	207
1.1.2 – Fotos del muntatge realitzat en el laboratori	218
1.2 – ASSAIG DE MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ.....	220
1.2.1 – Fotos del muntatge realitzat en el laboratori	220
1.3 – ASSAIG DE MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT	222
1.3.1 – Dades obtingudes en l'assaig	222
1.3.1 – Fotos del muntatge realitzat en el laboratori	226
1.4 – ASSAIG DE MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA	227
1.4.1 – Càlcul de les pèrdues en el coure pel punt nominal	227
1.4.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori	236
1.5 – ASSAIG D'ESCALFAMENT	237
1.5.1 - Procediment d'obtenció de l'equació de la corba de l'escalfament.....	237
1.5.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori	242
CAPÍTOL 2: MÀQUINES SÍNCRONES	244
2.1 – ASSAIG DE MESURA DE RESISTÈNCIES.....	244
2.1.1 – Valor de les resistències i de la influència de la temperatura.....	244
2.1.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori	246
2.2 – ASSAIG EN CIRCUIT OBERT.....	248
2.2.1 – Dades obtingudes en l'assaig	248
2.2.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori	252

2.3 – ASSAIG DE CURTCIRCUIT PERMANENT	253
2.3.1 – Dades obtingudes en l'assaig	253
2.3.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori	254
2.4 – ASSAIG AMB FACTOR DE POTÈNCIA ZERO	256
2.4.1 – Dades obtingudes en l'assaig	256
2.4.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori	257
CAPÍTOL 3: MÀQUINES ASÍNCRONES	259
3.1 – ASSAIG DE MESURA DE LES RESISTÈNCIES DE L'ESTATOR	259
3.1.1 – Dades obtingudes en l'assaig	259
3.1.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori	260
3.2 – ASSAIG DE BUIT O DE ROTOR LLIURE	261
3.2.1 – Dades obtingudes en l'assaig	261
3.2.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori	264
3.3 – ASSAIG DE ROTOR BLOQUEJAT	265
3.3.1 – Dades obtingudes en l'assaig	265
ESQUEMES	266
1-MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS D'UN TRANSFORMADOR MONOFÀSIC	
2-MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ D'UN TRANSFORMADOR MONOFÀSIC	
3-MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT D'UN TRANSFORMADOR MONOFÀSIC	
4-MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA	
5-ASSAIG D'ESCALFAMENT D'UN TRANSFORMADOR MONOFÀSIC. MUNTATGE REALITZAT EN EL LABORATORI	
6-ASSAIG D'ESCALFAMENT D'UN TRANSFORMADOR MONOFÀSIC. MUNTATGE REALITZAT SEGONS NORMATIVA	
7-MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC	
8-MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC. MUNTATGE REALITZAT EN EL LABORATORI.	
9-MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC. MUNTATGE REALITZAT SEGONS NORMATIVA.	
10-MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC. MUNTATGE REALITZAT EN EL LABORATORI.	
11-MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC. MUNTATGE REALITZAT EN EL LABORATORI.	
12- MESURA DE LA IMPEDÀNCIA I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC. MUNTATGE REALITZAT EN EL LABORATORI.	
13- MESURA DE LA IMPEDÀNCIA I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC. MUNTATGE REALITZAT EN EL LABORATORI.	
14- ASSAIG D'ESCALFAMENT D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC. MUNTATGE REALITZAT EN EL LABORATORI.	
15- ASSAIG D'ESCALFAMENT D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC. MUNTATGE REALITZAT SEGONS NORMATIVA.	
16 – MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS INDUCTOR I INDUÏT D'UNA MÀQUINA SÍNCRONA.	
17 – ASSAIG A CIRCUIT OBERT. AEG 6737939	
18 - ASSAIG A CIRCUIT OBERT. ELECTRAMOLINS 2934/75	
19 – ASSAIG A CIRCUIT OBERT. MUNTATGE SEGONS NORMATIVA.	
20 – ASSAIG DE CURTCIRCUIT PERMANENT. AEG 6737939	
21 - ASSAIG DE CURTCIRCUIT PERMANENT. ELECTRAMOLINS 2934/75	
22 - ASSAIG DE CURTCIRCUIT PERMANENT. MUNTATGE SEGONS NORMATIVA.	
23 – ASSAIG AMB FACTOR DE POTÈNCIA ZERO. AEG 6737939	
24 – ASSAIG AMB FACTOR DE POTÈNCIA ZERO. ELECTRAMOLINS 2934/75	

25- ASSAIG AMB FACTOR DE POTÈNCIA ZERO. MUNTATGE SEGONS NORMATIVA.	
26- OBTENCIÓ DE LES PÈRDUES D'UNA MÀQUINA SÍNCRONA	
27 – MESURA DE LES RESISTÈNCIES ESTATÒRIQUES DE LES MÀQUINES ASÍNCRONES	
28 – ASSAIG DE BUIT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA.	
29 – ASSAIG DE ROTOR BLOQUEJAT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA.	
30 – PLAQUES DE BORNES DELS TRANSFORMADORS MONOFÀSICS	
31 – PLAQUES DE BORNES DELS TRANSFORMADORS TRIFÀSICS	
32- PLAQUES DE BORNES AEG 6737939	
33- PLAQUES DE BORNES ELECTRAMOLINS 2934/75	
34 – PLAQUES DE BORNES DE LA MÀQUINA ASÍNCRONA	
35 – PLAQUES DE CARACTERÍSTIQUES DELS GENERADORS SÍNCRONS	
36 – PLACA DE CARACTERÍSTIQUES DE LES MÀQUINES ASÍNCRONES	
RECOMANACIONS.....	303
CONCLUSIONS.....	304
BIBLIOGRAFIA	305

ÍNDIX DE FIGURES

FIGURA 1. DIAGRAMA DE MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS EN UN TRANSFORMADOR	20
FIGURA 2. DIAGRAMA DE MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ	25
FIGURA 3. DIAGRAMA DE MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT	29
FIGURA 4. DIAGRAMA DE MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA	48
FIGURA 5. DIAGRAMA D'ESCALFAMENT A CIRCUIT OBERT	70
FIGURA 6. DIAGRAMA D'ESCALFAMENT AMB UN DEBANAT CURTCIRCUITAT	70
FIGURA 7. CIRCUIT EQUIVALENT DE UN TRANSFORMADOR REDUÏT AL PRIMARI	85
FIGURA 8. CIRCUIT EQUIVALENT D'UN TRANSFORMADOR REDUÏT AL SECUNDARI	85
FIGURA 9. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 001	107
FIGURA 10. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 001	108
FIGURA 11. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 002	109
FIGURA 12. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 002	110
FIGURA 13. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 003	111
FIGURA 14. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 003	112
FIGURA 15. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 004	113
FIGURA 16. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 004	114
FIGURA 17. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 005	115
FIGURA 18. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 005	116
FIGURA 19. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 006	117
FIGURA 20. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 006	118
FIGURA 21. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 007	119
FIGURA 22. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 007	120
FIGURA 23. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 008	121
FIGURA 24. DIAGRAMA FASORIAL TRAFO 008	122
FIGURA 25. DIAGRAMA DE LA MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS INDUCTOR I INDUÏT	132
FIGURA 26. CARACTERÍSTICA EN CIRCUIT OBERT	134
FIGURA 27. DIAGRAMA DE L'ASSAIG A CIRCUIT OBERT EN UNA MÀQUINA SÍNCRONA	135
FIGURA 28. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT	137
FIGURA 29. DIAGRAMA DE CURTCIRCUIT PERMANENT	138
FIGURA 30. CARACTERÍSTICA DE REACTIVA	141
FIGURA 31. DIAGRAMA DE L'ASSAIG AMB FACTOR DE POTÈNCIA ZERO	143
FIGURA 32. DIAGRAMA DE L'OBTENCIÓ DE PÈRDUES EN UNA MÀQUINA SÍNCRONA	151
FIGURA 33. OBTENCIÓ DE LES PÈRDUES EN UNA MÀQUINA SÍNCRONA	152
FIGURA 34. CIRCUIT EQUIVALENT DE LA MÀQUINA SÍNCRONA ASSIMILANT L'EFFECTE DE LA REACCIÓ D'INDUÏT	155
FIGURA 35. CIRCUIT EQUIVALENT DE LA MÀQUINA SÍNCRONA	155
FIGURA 36. REPRESENTACIÓ DEL CIRCUIT EQUIVALENT DE LA MÀQUINA SÍNCRONA	157
FIGURA 37. DIAGRAMA DE MESURA DE LES RESISTÈNCIES ESTATÒRIQUES D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA	165
FIGURA 38. DIAGRAMA DE L'ASSAIG DE BUIT EN UNA MÀQUINA ASÍNCRONA	167
FIGURA 39. DIAGRAMA DE ROTOR BLOQUEJAT	170
FIGURA 40. CIRCUIT EQUIVALENT MÀQUINA ASÍNCRONA REDUÏT EL ROTOR A L'ESTATOR	176
FIGURA 41. AMPERÍMETRE	183
FIGURA 42. VOLTÍMETRE	184
FIGURA 43. PINCES AMPERIMÈTRIQUES	185
FIGURA 44. VATÍMETRE DIGITAL	185
FIGURA 45. ANALITZADOR DE XARXES INCORPORAT A LA FONT D'ALIMENTACIÓ	186

FIGURA 46. TERMÒMETRE	186
FIGURA 47. TACÒMETRE DIGITAL	187
FIGURA 48. ANALITZADOR DE XARXES	187
FIGURA 49. FONTS D'ALIMENTACIÓ	188
FIGURA 50. BANC DE RESISTÈNCIES REGULABLES	189
FIGURA 51. BATERIA D'INDUCTÀNCIES.....	189
FIGURA 52. CONTACTOR	190
FIGURA 53. SINCRONOSCOPI	190
FIGURA 55. TRANSFORMADOR TRIFÀSIC	191
FIGURA 54. TRANSFORMADOR MONOFÀSIC.....	191
FIGURA 56. MÀQUINA SÍNCRONA AEG Nr 6737939	192
FIGURA 57. BANCADA ELECTRAMOLINS Nr 2934/75.....	193
FIGURA 58. MOTOR AUXILIAR AEG Nr 6737939	193
FIGURA 59. MÀQUINA ASÍNCRONA.....	194
FIGURA 60. DIAGRAMA DE BLOCS TREBALL – PERILL - ACCIDENT	196
FIGURA 61. EL CONTACTE ELÈCTRIC	200
FIGURA 62. PONT DE WHEATSTONE	208
FIGURA 63. PONT DE THOMPSON	208
FIGURA 64. PRECISIÓ I EXACTITUD	210
FIGURA 65. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS D'UN TRANSFORMADOR MONOFÀSIC SEGONS EL MÈTODE TENSIO – CORRENT.....	218
FIGURA 66. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC SEGONS EL MÈTODE TENSIO – CORRENT.....	219
FIGURA 67. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS D'UN TRANSFORMADOR MONOFÀSIC AMB EL PONT DE THOMPSON	219
FIGURA 68. MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ D'UN TRANSFORMADOR MONOFÀSIC.....	220
FIGURA 69. MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC	221
FIGURA 70. MESURA DE LES PÈRDUES I EL CORRENT DE BUIT D'UN TRANSFORMADOR MONOFÀSIC	226
FIGURA 71. MESURA DE LES PÈRDUES I EL CORRENT DE BUIT D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC	226
FIGURA 72. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA D'UN TRANSFORMADOR MONOFÀSIC	236
FIGURA 73. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC.....	237
FIGURA 74. ASSAIG D'ESCALFAMENT A CIRCUIT OBERT.....	242
FIGURA 75. ASSAIG D'ESCALFAMENT A CURTCIRCUIT	243
FIGURA 76. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DEL GENERADOR SÍNCRON AEG Nr 6737939.....	246
FIGURA 77. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DEL GENERADOR SÍNCRON ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	247
FIGURA 78. OBTENCIÓ DE LA CARACTERÍSTICA EN CIRCUIT OBERT DEL GENERADOR SÍNCRON AEG Nr 6737939	252
FIGURA 79. OBTENCIÓ DE LA CARACTERÍSTICA EN CIRCUIT OBERT DEL GENERADOR SÍNCRON ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	253
FIGURA 80. OBTENCIÓ DE LA CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL GENERADOR SÍNCRON AEG Nr 6737939.....	254
FIGURA 81. OBTENCIÓ DE LA CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL GENERADOR SÍNCRON ELECTRAMOLINS 2934/75.....	255
FIGURA 82. OBTENCIÓ DE LA CARACTERÍSTICA DE REACTIVA DEL GENERADOR SÍNCRON AEG 6737939	257
FIGURA 83. OBTENCIÓ DE LA CARACTERÍSTICA DE REACTIVA DEL GENERADOR SÍNCRON ELECTRAMOLINS 2934/75	258
FIGURA 84. MESURA DE LES RESISTÈNCIES ESTATÒRIQUES DE LA MÀQUINA ASÍNCRONA	260
FIGURA 85. ASSAIG EN BUIT DE LA MÀQUINA ASÍNCRONA.....	264
FIGURA 86. CABLE PER A POLÍMETRE.....	303

ÍNDIX D'EQUACIONS

EQUACIÓ 1. LLEI D'OHM.....	20
EQUACIÓ 2. RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ.....	23
EQUACIÓ 3. PÈRDUES EN BUIT.....	30
EQUACIÓ 4. POTÈNCIA ABSORBIDA EN CURTCIRCUIT	49
EQUACIÓ 5. PÈRDUES EN EL FERRO EN FUNCIÓ DE LA TENSIÓ AL QUADRAT	49
EQUACIÓ 6. PÈRDUES EN EL FERRO MENYSPREABLES.....	49
EQUACIÓ 7. PÈRDUES EN EL COURE	49
EQUACIÓ 8. ESCALFAMENT TOTAL D'UN DEBANAT.....	67
EQUACIÓ 9. CORBA D'ESCALFAMENT A CIRCUIT OBERT DEL TRAFO 001.....	73
EQUACIÓ 10. CORBA D'ESCALFAMENT A CURTCIRCUIT DEL TRAFO 001	77
EQUACIÓ 11. CORBA D'ESCALFAMENT A CIRCUIT OBERT DEL TRAFO 005.....	80
EQUACIÓ 12. CORBA D'ESCALFAMENT A CURTCIRCUIT DEL TRAFO 005	83
EQUACIÓ 13. INTENSITAT NOMINAL DEL COSTAT DE A.T.	86
EQUACIÓ 14. IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT REFERIDA AL COSTAT DE A.T.	86
EQUACIÓ 15. RESISTÈNCIA DE CURTCIRCUIT REFERIDA AL COSTAT DE A.T.....	86
EQUACIÓ 16. REACTÀNCIA DE CURTCIRCUIT REFERIDA AL COSTAT DE A.T.....	86
EQUACIÓ 17. RESISTÈNCIA DEL FERRO REFERIDA AL COSTAT DE A.T.	87
EQUACIÓ 18. INTENSITAT DEL FERRO REFERIDA AL COSTAT DE A.T.....	87
EQUACIÓ 19. INTENSITAT MAGNETITZANT REFERIDA AL COSTAT DE A.T.....	87
EQUACIÓ 20. REACTÀNCIA MAGNETITZANT REFERIDA AL COSTAT DE A.T.	87
EQUACIÓ 21. INTENSITAT NOMINAL DEL COSTAT DE B.T.....	88
EQUACIÓ 22. IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT REFERIDA AL COSTAT DE B.T.....	88
EQUACIÓ 23. RESISTÈNCIA DE CURTCIRCUIT REFERIDA AL COSTAT DE B.T.....	88
EQUACIÓ 24. REACTÀNCIA DE CURTCIRCUIT REFERIDA AL COSTAT DE B.T.....	88
EQUACIÓ 25. RESISTÈNCIA DEL FERRO REFERIDA AL COSTAT DE B.T.	89
EQUACIÓ 26. INTENSITAT DEL FERRO REFERIDA AL COSTAT DE B.T.....	89
EQUACIÓ 27. INTENSITAT DEL FERRO REFERIDA AL COSTAT DE B.T.....	89
EQUACIÓ 28. REACTÀNCIA MAGNETITZANT REFERIDA AL COSTAT DE B.T.	89
EQUACIÓ 29. INTENSITAT MAGNETITZANT DEL DIAGRAMA FASORIAL EN BUIT.....	106
EQUACIÓ 30. POTÈNCIA REACTIVA	106
EQUACIÓ 31. INTENSITAT DEL FERRO DEL DIAGRAMA FASORIAL EN BUIT	106
EQUACIÓ 32. PÈRDUES EN EL FERRO DEL DIAGRAMA FASORIAL EN BUIT	107
EQUACIÓ 33. TEMPERATURA FINAL QUE ASOLEIX EL DEBANAT D'UN TRANSFORMADOR.....	123
EQUACIÓ 34. CÀLCUL DE LES RESISTÈNCIES EN FUNCIÓ DE LA TEMPERATURA	124
EQUACIÓ 35. PÈRDUES EN EL COURE EN L'ASSAIG DE BUIT D'UN TRANSFORMADOR MONOFÀSIC.....	124
EQUACIÓ 36. OBTENCIÓ DEL $\cos \Phi_0$	125
EQUACIÓ 37. OBTENCIÓ DE Φ_0	125
EQUACIÓ 38. POTÈNCIA REACTIVA EN BUIT	125
EQUACIÓ 39. POTÈNCIA APARENT EN BUIT	125
EQUACIÓ 40. PÈRDUES EN EL COURE A VALOR NOMINAL EN L'ASSAIG DE CURTCIRCUIT MONOFÀSIC	126
EQUACIÓ 41. PÈRDUES EN EL FERRO A TENSIÓ REDUÏDA	126
EQUACIÓ 42. INTENSITAT DE LA BANDA D'A.T DEL CIRCUIT EQUIVALENT	126
EQUACIÓ 43. TENSIÓ DE CURTCIRCUIT DE LA BANDA D'A.T. DEL CIRCUIT EQUIVALENT	126
EQUACIÓ 44. EQUACIÓ GENERAL DE LA CORBA D'ESCALFAMENT	127
EQUACIÓ 45. TEMPERATURA DE SERVEI	127

EQUACIÓ 46. PÈRDUES EN EL COURE EN L'ASSAIG DE MESURA DE PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC	129
EQUACIÓ 47. MITJANA ARITMÈTICA DE LA TENSIÓ APLICADA.....	129
EQUACIÓ 48. MITJANA ARITMÈTICA DE LA TENSIÓ DE BUIT INDUÏDA	129
EQUACIÓ 49. MITJANA ARITMÈTICA DE LA INTENSITAT DE BUIT	129
EQUACIÓ 50. MITJANA ARITMÈTICA DE LA POTÈNCIA ABSORBIDA EN BUIT	129
EQUACIÓ 51. OBTENCIÓ DE $\cos \phi_0$ EN UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC.....	130
EQUACIÓ 52. OBTENCIÓ DE ϕ_0	130
EQUACIÓ 53. POTÈNCIA REACTIVA EN BUIT D'UN TRANSFORMADOR TRIFÀSIC	130
EQUACIÓ 54. PÈRDUES CONSTANTS D'UNA MÀQUINA SÍNCRONA	146
EQUACIÓ 55. PÈRDUES EN CÀRREGA D'UNA MÀQUINA SÍNCRONA	146
EQUACIÓ 56. PÈRDUES TOTALS D'UNA MÀQUINA SÍNCRONA	147
EQUACIÓ 57. VELOCITAT DE ROTACIÓ D'UNA MÀQUINA SÍNCRONA	148
EQUACIÓ 58. EQUACIÓ PER OBTENIR LA F.E.M EN UNA MÀQUINA SÍNCRONA.....	155
EQUACIÓ 59. REACTÀNCIA SÍNCRONA.....	155
EQUACIÓ 60. IMPEDÀNCIA SÍNCRONA.....	156
EQUACIÓ 61. EQUACIÓ DE LA F.E.M. REDUÏDA	156
EQUACIÓ 62. MITJANA ARITMÈTICA DE LA F.E.M INDUÏDA EN BUIT	162
EQUACIÓ 63. MITJANA ARITMÈTICA DE LA INTENSITAT DE CURTCIRCUIT.....	162
EQUACIÓ 64. MITJANA ARITMÈTICA DE LA TENSIÓ EN BORNES DE LA CÀRREGA	163
EQUACIÓ 65. MITJANA ARITMÈTICA DE LA INTENSITAT DE L'INDUÏT	163
EQUACIÓ 66. FÓRMULA DE CÀLCUL DE LA IMPEDÀNCIA SÍNCRONA	163
EQUACIÓ 67. EXPRESSIÓ PER LA OBTENCIÓ DE LES PÈRDUES CONSTANTS EN UNA MÀQUINA SÍNCRONA	172
EQUACIÓ 68. BALANÇA DE PÈRDUES EN L'ASSAIG DE ROTOR BLOQUEJAT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA.....	173
EQUACIÓ 69. RESISTÈNCIA DEL FERRO D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA	176
EQUACIÓ 70. INTENSITAT DEL FERRO D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA.....	177
EQUACIÓ 71. INTENSITAT MAGNETITZANT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA	177
EQUACIÓ 72. REACTÀNCIA MAGNETITZANT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA	177
EQUACIÓ 73. PÈRDUES FINALS EN L'ASSAIG DE ROTOR BLOQUEJAT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA	177
EQUACIÓ 74. PÈRDUES EN EL FERRO EN L'ASSAIG DE ROTOR BLOQUEJAT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA.....	178
EQUACIÓ 75. RESISTÈNCIA DE CURTCIRCUIT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA	178
EQUACIÓ 76. IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA.....	178
EQUACIÓ 77. REACTÀNCIA DE CURTCIRCUIT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA.....	178
EQUACIÓ 78. RESISTÈNCIA DE CÀRREGA D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA.....	178
EQUACIÓ 79. CÀLCUL DE R_2' DEPENDENT DE LA RESISTÈNCIA DE CÀRREGA	179
EQUACIÓ 80. MITJANA ARITMÈTICA DE LA TENSIÓ APLICADA EN UN ASSAIG DE BUIT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA.....	181
EQUACIÓ 81. MITJANA ARITMÈTICA DE LA INTENSITAT DE BUIT D'UN ASSAIG DE BUIT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA.....	181
EQUACIÓ 82. PÈRDUES EN EL COURE EN L'ASSAIG DE BUIT D'UNA MÀQUINA ASÍNCRONA	182
EQUACIÓ 83. MITJANA ARITMÈTICA DE LA TENSIÓ REDUÏDA APLICADA EN UN ASSAIG DE ROTOR BLOQUEJAT	182
EQUACIÓ 84. MITJANA ARITMÈTICA DE LA INTENSITAT DE L'ASSAIG DE ROTOR BLOQUEJAT	182
EQUACIÓ 85. ERROR ABSOLUT	211
EQUACIÓ 86. ERROR RELATIU	211

ÍNDEX DE TAULES

TAULA 1. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS DEL TRAF0 001	21
TAULA 2. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS DEL TRAF0 002	21
TAULA 3. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS DEL TRAF0 003	21
TAULA 4. MESURA DE LA RESISTÈNCIA DELS DEBANATS DEL TRAF0 004	22
TAULA 5. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS DEL TRAF0 005	22
TAULA 6. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS DEL TRAF0 006	22
TAULA 7. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS DEL TRAF0 007	22
TAULA 8. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DELS DEBANATS DEL TRAF0 008	23
TAULA 9. MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ DEL TRAF0 001	25
TAULA 10. MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ DEL TRAF0 002	26
TAULA 11. MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ DEL TRAF0 003	26
TAULA 12. MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ DEL TRAF0 004	26
TAULA 13. MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ DEL TRAF0 005	27
TAULA 14. MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ DEL TRAF0 006	27
TAULA 15. MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ DEL TRAF0 007	27
TAULA 16. MESURA DE LA RELACIÓ DE TRANSFORMACIÓ DEL TRAF0 008	27
TAULA 17. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 001_1	31
TAULA 18. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 001_2	32
TAULA 19. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 002_1	33
TAULA 20. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 002_2	34
TAULA 21. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 003_1	35
TAULA 22. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 003_2	36
TAULA 23. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 004_1	37
TAULA 24. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 004_2	38
TAULA 25. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 005_1	39
TAULA 26. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 005_2	40
TAULA 27. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 006_1	41
TAULA 28. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 006_2	42
TAULA 29. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 007_1	43
TAULA 30. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 007_2	44
TAULA 31. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 008_1	45
TAULA 32. MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAF0 008_2	46
TAULA 33. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 001_1	50
TAULA 34. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 001_2	51
TAULA 35. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 002_1	52
TAULA 36. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 002_2	53
TAULA 37. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 003_1	54
TAULA 38. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 003_2	55
TAULA 39. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 004_1	56
TAULA 40. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 004_2	57
TAULA 41. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 005_1	58
TAULA 42. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 005_2	59
TAULA 43. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 006_1	60
TAULA 44. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 006_2	61
TAULA 45. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 007_1	62

TAULA 46. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGRUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 007_2	63
TAULA 47. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGRUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 008_1	64
TAULA 48. MESURA DE LA IMPEDÀNCIA DE CURTCIRCUIT I DE LES PÈRDUES DEGRUDES A LA CÀRREGA DEL TRAF0 008_2	65
TAULA 49. PÈRDUES EN EL FERRO EN L'ASSAIG DE CURTCIRCUIT	66
TAULA 50. ASSAIG D'ESCALFAMENT A CIRCUIT OBERT TRAF0 001	71
TAULA 51. ASSAIG D'ESCALFAMENT A CURTCIRCUIT TRAF0 001	74
TAULA 52. ASSAIG D'ESCALFAMENT A CURTCIRCUIT TRAF0 001	75
TAULA 53. ESCALFAMENT TOTAL DELS DEBANATS DEL TRAF0 001	77
TAULA 54. ASSAIG D'ESCALFAMENT A CIRCUIT OBERT TRAF0 005	78
TAULA 55. ASSAIG D'ESCALFAMENT A CURTCIRCUIT TRAF0 005	81
TAULA 56. ESCALFAMENT TOTAL DELS DEBANATS DEL TRAF0 005	83
TAULA 57. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 001_1	90
TAULA 58. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 001_2	91
TAULA 59. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 002_1	92
TAULA 60. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 002_2	93
TAULA 61. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 003_1	94
TAULA 62. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 003_2	95
TAULA 63. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 004_1	96
TAULA 64. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 004_2	97
TAULA 65. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 005_1	98
TAULA 66. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 005_2	99
TAULA 67. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 006_1	100
TAULA 68. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 006_2	101
TAULA 69. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 007_1	102
TAULA 70. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 007_2	103
TAULA 71. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 008_1	104
TAULA 72. CIRCUIT EQUIVALENT DEL TRAF0 008_2	105
TAULA 73. MESURA DE LA RESISTÈNCIA DE L'INDUCTOR DE LA MÀQUINA AEG Nr 6737939	133
TAULA 74. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DE L'INDUÏT DE LA MÀQUINA AEG Nr 6737939	133
TAULA 75. MESURA DE LA RESISTÈNCIA DE L'INDUCTOR DE LA MÀQUINA ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	133
TAULA 76. MESURA DE LES RESISTÈNCIES DE L'INDUÏT DE LA MÀQUINA ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	133
TAULA 77. ASSAIG DE CURTCIRCUIT PERMANENT AEG Nr 6737939	139
TAULA 78. ASSAIG DE CURTCIRCUIT PERMANENT ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	140
TAULA 79. ASSAIG AMB FACTOR DE POTÈNCIA ZERO AEG 6737939	143
TAULA 80. ASSAIG AMB FACTOR DE POTÈNCIA ZERO ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	144
TAULA 81. PÈRDUES TOTALS AEG Nr 6737939	153
TAULA 82. PÈRDUES TOTALS ELECTAMOLINS Nr 2934/75	153
TAULA 83. IMPEDÀNCIA SÍNCRONA AEG Nr 6737939	158
TAULA 84. IMPEDÀNCIA SÍNCRONA ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	159
TAULA 85. MESURA DE LES RESISTÈNCIES ESTATÒRIQUES DE LA MÀQUINA AM80K6	166
TAULA 86. MESURA DE LES RESISTÈNCIES ESTATÒRIQUES DE LA MÀQUINA AM80N6	166
TAULA 87. ASSAIG DE BUIT AM80K6	168
TAULA 88. ASSAIG DE BUIT AM80N6	168
TAULA 89. ASSAIG DE ROTOR BLOQUEJAT AM80K6	170
TAULA 90. ASSAIG DE ROTOR BLOQUEJAT AM80N6	171
TAULA 91. SEPARACIÓ DE PÈRDUES AM80K6	174
TAULA 92. SEPARACIÓ DE PÈRDUES AM80N6	175

TAULA 93. CIRCUIT EQUIVALENT DE AM80K6.....	179
TAULA 94. CIRCUIT EQUIVALENT DE AM80N6	180
TAULA 95. XIFRES SIGNIFICATIVES	211
TAULA 96. SENSIBILITAT	211
TAULA 97. DADES OBTINGUDES EN L'ASSAIG DE MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAFO 001_1	222
TAULA 98. DADES OBTINGUDES EN L'ASSAIG DE MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAFO 001_2	222
TAULA 99. DADES OBTINGUDES EN L'ASSAIG DE MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAFO 002_1	223
TAULA 100. DADES OBTINGUDES EN L'ASSAIG DE MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAFO 002_2	223
TAULA 101. DADES OBTINGUDES EN L'ASSAIG DE MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAFO 003_1	224
TAULA 102. DADES OBTINGUDES EN L'ASSAIG DE MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAFO 003_2	224
TAULA 103. DADES OBTINGUDES EN L'ASSAIG DE MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAFO 004_1	225
TAULA 104. DADES OBTINGUDES EN L'ASSAIG DE MESURA DE LES PÈRDUES I DEL CORRENT DE BUIT DEL TRAFO 004_2	225
TAULA 105. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 001_1	227
TAULA 106. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 001_2	228
TAULA 107. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 002_1	228
TAULA 108. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 002_2	229
TAULA 109. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 003_1	230
TAULA 110. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 003_2	230
TAULA 111. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 004_1	231
TAULA 112. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 004_2	232
TAULA 113. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 005_1	232
TAULA 114. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 005_2	233
TAULA 115. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 006_1	233
TAULA 116. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 006_2	234
TAULA 117. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 007_1	234
TAULA 118. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 007_2	235
TAULA 119. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 008_1	235
TAULA 120. CÀLCUL DE LES PÈRDUES EN EL COURE AL PUNT NOMINAL TRAFO 008_2	236
TAULA 121. VALORS DE LES RESISTÈNCIES DE L'INDUÏT A 70 ° C AEG Nr 6737939	244
TAULA 122. VALORS DE LA RESISTÈNCIA DE L'INDUCTOR A 70 ° C AEG Nr 6737939	245
TAULA 123. VALORS DE LES RESISTÈNCIES DE L'INDUÏT A 70 ° C ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	245
TAULA 124. VALORS DE LA RESISTÈNCIA DE L'INDUCTOR A 70 ° C ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	246
TAULA 125. ASSAIG A CIRCUIT OBERT AEG Nr 6737939	248
TAULA 126. DADES OBTINGUDES EN L'ASSAIG A CIRCUIT OBERT AEG Nr 6737939	249
TAULA 127. ASSAIG A CIRCUIT OBERT ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	250
TAULA 128. DADES OBTINGUDES EN L'ASSAIG A CIRCUIT OBERT ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	251
TAULA 129. ASSAIG DE CURTCIRCUIT PERMANENT AEG Nr 6737939.....	253
TAULA 130. ASSAIG DE CURTCIRCUIT PERMANENT ELECTRAMOLINS 2934/75.....	254
TAULA 131. DADES ASSAIG AMB FACTOR DE POTÈNCIA ZERO AEG Nr 6737939	256
TAULA 132. DADES ASSAIG AMB FACTOR DE POTÈNCIA ZERO ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	256
TAULA 133. VALORS DE LES RESISTÈNCIES ESTATÒRIQUES A 70 ° C AM80K6	259
TAULA 134. VALORS DE LES RESISTÈNCIES ESTATÒRIQUES A 70 ° C AM80N6	260
TAULA 135. DADES OBTINGUDES EN L'ASSAIG DE BUIT AM80K6	261
TAULA 136. OBTENCIÓ DE LES PÈRDUES EN EL COURE EN L'ASSAIG DE BUIT AM80K6.....	262
TAULA 137. DADES OBTINGUDES EN L'ASSAIG DE BUIT AM80N6	262
TAULA 138. OBTENCIÓ DE LES PÈRDUES EN EL COURE EN L'ASSAIG DE BUIT AM80N6	263
TAULA 139. ASSAIG DE ROTOR BLOQUEJAT AM80K6.....	265

TAULA 140. ASSAIG DE ROTOR BLOQUEJAT AM80N6	265
---	-----

ÍNDIX DE GRÀFICS

GRÀFIC 1. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 001_1	50
GRÀFIC 2. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 001_2	51
GRÀFIC 3. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 002_1	52
GRÀFIC 4. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 002_2	53
GRÀFIC 5. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 003_1	54
GRÀFIC 6. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 003_2	55
GRÀFIC 7. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 004_1	56
GRÀFIC 8. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 004_2	57
GRÀFIC 9. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 005_1	58
GRÀFIC 10. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 005_2	59
GRÀFIC 11. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 006_1	60
GRÀFIC 12. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 006_2	61
GRÀFIC 13. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 007_1	62
GRÀFIC 14. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 007_2	63
GRÀFIC 15. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 008_1	64
GRÀFIC 16. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DEL TRAF0 008_2	65
GRÀFIC 17. CORBA D'ESCALFAMENT A CIRCUIT OBERT DEL TRAF0 001.....	73
GRÀFIC 18. CORBA D'ESCALFAMENT A CURTCIRCUIT DEL TRAF0 001.....	77
GRÀFIC 19. CORBA D'ESCALFAMENT A CIRCUIT OBERT DEL TRAF0 005.....	80
GRÀFIC 20. CORBA D'ESCALFAMENT A CURTCIRCUIT DEL TRAF0 005.....	83
GRÀFIC 21. CARACTERÍSTICA EN CIRCUIT OBERT AEG Nr 6737939	136
GRÀFIC 22. CARACTERÍSTICA EN CIRCUIT OBERT ELECTRAMOLINS Nr 2934/75.....	136
GRÀFIC 23. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DE LA MÀQUINA SÍNCRONA AEG Nr 6737939	139
GRÀFIC 24. CARACTERÍSTICA DE CURTCIRCUIT DE LA MÀQUINA SÍNCRONA ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	140
GRÀFIC 25. CARACTERÍSTICA DE REACTIVA AEG 6737939	144
GRÀFIC 26. CARACTERÍSTICA DE REACTIVA ELECTRAMOLINS Nr 2934/75.....	145
GRÀFIC 27. IMPEDÀNCIA SÍNCRONA AEG Nr 6737939.....	158
GRÀFIC 28. CARACTERÍSTICA EN CIRCUIT OBERT I DE CURTCIRCUIT PER LA IMPEDÀNCIA SÍNCRONA AEG Nr 6737939	159
GRÀFIC 29. REACTÀNCIA SÍNCRONA ELECTRAMOLINS Nr 2934/75	160
GRÀFIC 30. CARACTERÍSTICA EN CIRCUIT OBERT I DE CURTCIRCUIT PER LA IMPEDÀNCIA SÍNCRONA ELECTRAMOLINS Nr 2934/75.....	160
GRÀFIC 31. OBTENCIÓ DE PÈRDUES AM80K6	174
GRÀFIC 32. OBTENCIÓ DE PÈRDUES AM80N6.....	175
GRÀFIC 33. MESURES PRESES TRAF0 005.....	212
GRÀFIC 34. ERROR ABSOLUT TRAF0 005	212
GRÀFIC 35. ERROR RELATIU TRAF0 005	213
GRÀFIC 36. MESURES PRESES DEBANAT PRIMARI TRAF0 001.....	214
GRÀFIC 37. MESURES PRESES DEBANAT SECUNDARI TRAF0 001.....	214
GRÀFIC 38. ERROR ABSOLUT DEBANAT PRIMARI TRAF0 001.....	215
GRÀFIC 39. ERROR ABSOLUT DEBANAT SECUNDARI TRAF0 001	215
GRÀFIC 40. ERROR RELATIU DEBANAT PRIMARI TRAF0 001	216
GRÀFIC 41. ERROR RELATIU DEBANAT SECUNDARI TRAF0 001	216

Resum

En el present projecte es presenta un manual d'assaig de les màquines elèctriques més usades en el laboratori de màquines elèctriques de l'Escola d'Enginyeria de Terrassa. L'objectiu del mateix és dur a terme la realització d'una sèrie d'assajos regulats per la normativa vigent per a cada tipus de màquines elèctriques estudiades i posteriorment, amb les dades obtingudes en ells es realitza la caracterització de cada tipus de màquines.

Resumen

En este proyecto se presenta un manual de ensayo de las máquinas eléctricas más usadas en el laboratorio de máquinas eléctricas de l'Escola d'Enginyeria de Terrassa. El objetivo del mismo es llevar a cabo la realización de una serie de ensayos regulados por la normativa vigente para cada tipo de máquinas eléctricas estudiadas y posteriormente, con los datos obtenidos en ellos se realiza la caracterización de cada tipo de máquina.

Abstract

This paper presents a handbook of trials carried out on the most used electrical machines in the laboratory of electrical machines of the School of Engineering of Terrassa. Its aim is to conduct a series of trials regulated under the current legislation for every type of electrical machines in consideration. Having obtained the results from the said trials, the characterization of every kind of machine is subsequently made.

MEMÒRIA

CAPÍTOL 1: OBJECTIUS I ABAST

1.1- Destinatarí

El destinatari d'aquest projecte és de tipus especialitzat, és a dir, per entendre i comprendre d'una manera adequada l'abast d'aquest projecte es necessita uns coneixements previs sobre màquines elèctriques.

El perfil de destinatari d'aquest projecte oscil·la des d'un estudiant d'enginyeria elèctrica que hagi cursat l'assignatura de màquines elèctriques fins a una persona especialista en el tema.

1.2- Enunciat del projecte

El present projecte és una guia de com realitzar assajos en uns determinats tipus de màquines elèctriques aplicant la normativa vigent i obtenint els paràmetres que caracteritzen a cada tipus d'aquestes.

1.3 - Objectiu del projecte

Els objectius d'aquest projecte són els següents:

- Realització dels assajos regulats per la normativa vigent en cada tipus de màquina elèctrica estudiada. Aquestes són:
 - Transformadors
 - Màquines síncrones
 - Màquines asíncrones
- Caracterització de les màquines del laboratori de màquines elèctriques de l'Escola d'Enginyeria de Terrassa.

Amb tot això es pretén recollir en un document les característiques de les màquines més utilitzades en el laboratori per tal de ser objecte de consulta i suport per si en algun cas es té qualsevol mena de dubte.

1.4 – Limitacions

El projecte està pensat per formar part del procediment d'assaig i caracterització de les màquines elèctriques esmentades anteriorment. Qualsevol altre tipus de màquina s'escapa de l'abast del projecte.

Una de limitacions del projecte és que es donen per sabuts els fonaments teòrics sobre màquines elèctriques. Es parteix de la premissa que el lector ja els té adquirits.

CAPÍTOL 2: ANTECEDENTS

2.1 – Condicionants inicials existents

L'objecte d'estudi d'aquest projecte són les màquines elèctriques del Laboratori de Màquines Elèctriques de l'Escola d'Enginyeria de Terrassa.

En el seu temps, ja es va realitzar la seva caracterització però degut que han sofert molts assajos de tot tipus, aquests han fet que les característiques pròpies de cada màquina hagin variat fer que provoca que s'hagi de realitzar una altra caracterització.

Aquest fet és el punt de partida per dur a terme la realització d'aquest projecte.

CAPÍTOL 3:

DESENVOLUPAMENT

TÈCNIC

En aquest capítol s'explica la metodologia seguida en cada assaig per a cada tipus de màquina. Les màquines elèctriques estudiades són els transformadors, les màquines síncrones i les màquines asíncrones.

3.1 – Placa de característiques i placa de borns

Abans de la realització de cada assaig s'ha de prendre nota de les dades que figuren en la placa de característiques i es realitza una representació gràfica d'aquesta i de la placa de borns amb les connexions utilitzades en ella.

Això es realitza pels tres tipus de màquines elèctriques objecte d'estudi d'aquest projecte.

Concretament els transformadors, físicament van encapsulats de dos en dos i només tenen una sola placa de característiques amb una sola potència aparent. Per tant, cada transformador, té la meitat de potència aparent que hi figura en ella.

3.2 .- Assajos a realitzar en els transformadors

Referent a aquest tipus de màquines elèctriques, en el laboratori de l'escola, estan classificades segons el número de fases, és a dir, entre monofàsics i trifàsics. Els assajos a practicar en ambdós tipus de transformadors són els mateixos però no el nombre de variables a obtenir. Per exemple en un transformador monofàsic només hi ha una intensitat a mesurar ja que únicament hi ha una fase. En canvi, en un transformador trifàsic hi ha tres intensitats a obtenir.

Cal indicar que aquests són de tipus sec, ja que el seu circuit magnètic i debanats no estan submergits en un dielèctric líquid. També cal esmentar que són transformadors amb refrigeració natural.

El nombre de transformadors a assajar és de vuit transformadors monofàsics i vuit trifàsics.

Els objectius i el procediment d'assaig en els transformadors monofàsics i en els trifàsics és el mateix. El que varia és el nombre de variables a prendre i el llistat de material.

Els transformadors trifàsics estudiats en aquest projecte són de caire educatiu, és a dir, en ells s'hi pot realitzar la connexió que un desitgi. La connexió elegida és Yy en tots els assajats.

3.2.1 – Mesura de les resistències dels debanats

3.2.1.1 – Objectius específics

Amb la realització d'aquest assaig es pretén obtenir el valor de les resistències que ofereixen els debanats dels transformadors objecte d'estudi. S'ha de tenir en compte que les resistències dels debanats són directament proporcionals a la temperatura. Per tant aquestes augmentaran en el moment que augmenti la temperatura.

3.2.1.2 – Llistat de material

En aquest assaig s'empra el mateix material en l'assaig del transformador monofàsic i que en el trifàsic.

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable amb rectificador
- 1 Banc de resistències regulables
 - o No interessa el valor al qual es reguli ja que té com a objectiu limitar el corrent que circuli pel circuit. Aquesta valor no regulat no afecta a les mesures de tensió i corrent.
- 1 Amperímetre en CC
- 1 Voltímetre en CC
- 1 Transformador

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori.*

3.2.1.3 – Procediment d'assaig

Tal com s'indica en la normativa vigent, el mètode usat com a referència és el mètode tensió - corrent. Aquest consisteix en aplicar una tensió de corrent continu en borns de la bobina, amb la conseqüent aparició d'una intensitat de corrent continu que circula per la bobina. Amb l'ajuda d'un voltímetre i d'un amperímetre es mesura la tensió en borns de la bobina i la intensitat que circularà per ella.

Amb els valors mesurats s'obté el valor de la resistència aplicant la Llei d'Ohm.

$$V = I \cdot R; \quad R = \frac{V}{I} [\Omega]$$

Equació 1. Llei d'Ohm

Per tal d'obtenir el valor de la resistència, a continuació es descriu el procediment a seguir en el laboratori.

Una vegada s'ha realitzat el muntatge de l'esquema 1 o 7 es procedeix a:

- 1 – Es regula el valor de la resistència del banc de resistències regulables. No interessa el valor d'aquesta ja que la seva funció dins del circuit és únicament limitar el corrent.
- 2 – Es procedeix a donar tensió a la font d'alimentació de tensió regulable amb rectificador i s'anoten les lectures dels aparells de mesura.
- 3- Amb aquests valors, s'aplicarà la Llei d'Ohm per tal de saber el valor de la resistència en cada cas.

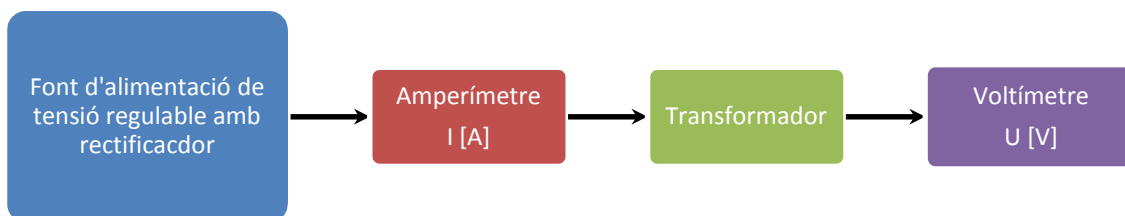


Figura 1. Diagrama de mesura de les resistències dels debanats en un transformador

3.2.1.4- Resultats obtinguts

- Transformador 1

Debanat	Primari	Resistència [Ω]	Debanat	Secundari	Resistència [Ω]
L1	1.2 U2 - 1.2 U1	1,11	L1	2.2 U2 - 2.2 U1	0,30
L1	1.1 U2 - 1.1 U1	0,98	L1	2.1 U2 - 2.1 U1	0,23
L2	1.2 V2 - 1.2 V1	1,12	L2	2.2 V2 - 2.2 V1	0,24
L2	1.1 V2 - 1.1 V1	1,03	L2	2.1 V2 - 2.1 V1	0,24
L3	1.2 W2 - 1.2 W1	1,10	L3	2.2 W2 - 2.2 W1	0,23
L3	1.1 W2 - 1.1 W1	1,08	L3	2.1 W2 - 2.1 W1	0,26

Taula 1. Mesura de les resistències dels debanats del Trafo 001

- Transformador 002

Debanat	Primari	Resistència [Ω]	Debanat	Secundari	Resistència [Ω]
L1	1.2 U2 - 1.2 U1	1,14	L1	2.2 U2 - 2.2 U1	0,26
L1	1.1 U2 - 1.1 U1	1,23	L1	2.1 U2 - 2.1 U1	0,23
L2	1.2 V2 - 1.2 V1	1,11	L2	2.2 V2 - 2.2 V1	0,27
L2	1.1 V2 - 1.1 V1	1,18	L2	2.1 V2 - 2.1 V1	0,23
L3	1.2 W2 - 1.2 W1	1,04	L3	2.2 W2 - 2.2 W1	0,31
L3	1.1 W2 - 1.1 W1	1,10	L3	2.1 W2 - 2.1 W1	0,24

Taula 2. Mesura de les resistències dels debanats del Trafo 002

- Transformador 003

Debanat	Primari	Resistència [Ω]	Debanat	Secundari	Resistència [Ω]
L1	1.2 U2 - 1.2 U1	1,14	L1	2.2 U2 - 2.2 U1	0,34
L1	1.1 U2 - 1.1 U1	1,36	L1	2.1 U2 - 2.1 U1	0,32
L2	1.2 V2 - 1.2 V1	1,17	L2	2.2 V2 - 2.2 V1	0,30
L2	1.1 V2 - 1.1 V1	1,19	L2	2.1 V2 - 2.1 V1	0,30
L3	1.2 W2 - 1.2 W1	1,11	L3	2.2 W2 - 2.2 W1	0,27
L3	1.1 W2 - 1.1 W1	1,27	L3	2.1 W2 - 2.1 W1	0,25

Taula 3. Mesura de les resistències dels debanats del Trafo 003

- Transformador 004

Debanat	Primari	Resistència [Ω]	Debanat	Secundari	Resistència [Ω]
L1	1.2 U2 - 1.2 U1	1,18	L1	2.2 U2 - 2.2 U1	0,24
L1	1.1 U2 - 1.1 U1	1,85	L1	2.1 U2 - 2.1 U1	0,25
L2	1.2 V2 - 1.2 V1	1,24	L2	2.2 V2 - 2.2 V1	0,26
L2	1.1 V2 - 1.1 V1	1,15	L2	2.1 V2 - 2.1 V1	0,27
L3	1.2 W2 - 1.2 W1	1,08	L3	2.2 W2 - 2.2 W1	0,23
L3	1.1 W2 - 1.1 W1	1,09	L3	2.1 W2 - 2.1 W1	0,28

Taula 4. Mesura de la resistència dels debanats del Trafo 004

- Transformador 005

Primari	Resistència [Ω]	Secundari	Resistència [Ω]
1.12 - 1.11	0,57	2.12 - 2.11	0,12
1.22 - 1.21	0,56	2.22 - 2.21	0,13

Taula 5. Mesura de les resistències dels debanats del Trafo 005

- Transformador 006

Primari	Resistència [Ω]	Secundari	Resistència [Ω]
1.12 - 1.11	0,56	2.12 - 2.11	0,12
1.22 - 1.21	0,53	2.22 - 2.21	0,15

Taula 6. Mesura de les resistències dels debanats del Trafo 006

- Transformador 007

Primari	Resistència [Ω]	Secundari	Resistència [Ω]
1.12 - 1.11	0,53	2.12 - 2.11	0,14
1.22 - 1.21	0,54	2.22 - 2.21	0,13

Taula 7. Mesura de les resistències dels debanats del Trafo 007

- Transformador 008

Primari	Resistència [Ω]	Secundari	Resistència [Ω]
1.12 - 1.11	0,53	2.12 - 2.11	0,12
1.22 - 1.21	0,58	2.22 - 2.21	0,15

Taula 8. Mesura de les resistències dels debanats del Trafo 008

Per més informació observar l'annex *1.1- Assaig de mesura de les resistències dels debanats* i les fulles de càlcul de cada transformador.

3.2.2 – Mesura de la relació de transformació

3.2.2.1 – Objectius específics

Amb la realització d'aquest assaig es pretén verificar la relació matemàtica entre el número d'espores primàries i secundàries que posseeix el transformador. Quan el transformador està treballant en buit, la relació de transformació es igual a la relació de tensions.

$$m = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_{1n}}{U_{20}}$$

Equació 2. Relació de transformació

Amb ell, també es comprova que si un transformador no compleix la relació de transformació, es senyal de que pateix alguna anomalia en els seus debanats.

3.2.2.2 – Llistat de material

En aquest assaig es diferencia la llista de material per a un transformador monofàsic i per un trifàsic.

Transformador monofàsic

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable amb rectificador
- 2 Voltímetres en CA
 - Un serveix per mesurar $U_{A.T.}$ i l'altre $U_{B.T.}$
- 1 Transformador monofàsic

Transformador trifàsic

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable
- 6 Voltímetres en CA
 - Tres serveixen per mesurar $U_{A.T.}$ de cada fase i els altres tres per mesurar $U_{B.T.}$ de cada fase.
- 1 Transformador trifàsic

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori.*

3.2.2.3 – Procediment d'assaig

Per tal de mesurar la relació de transformació, s'utilitza el mètode dels voltímetres. Consisteix en aplicar una tensió sinusoïdal de valor conegut a un dels debanats i mesurar la tensió en buit que apareixi induïda en l'altre debanat. Aquestes dues tensions es mesuren amb dos voltímetres. La tensió a aplicar de valor conegut és el valor nominal de la tensió del debanat.

Amb aquestes dues mesures, s'aplica la fórmula matemàtica de la relació de transformació.

Una vegada s'ha realitzat el muntatge de l'esquema 2, 8 o 9 es procedeix a:

- 1- Es dóna tensió a la font d'alimentació fins que en el voltímetre s'observi que s'arriba a la tensió nominal.
- 2- Es pren nota del valor de les lectures dels dos voltímetres.
- 3- S'aplica l'expressió matemàtica per tal d'obtenir el valor de la relació de transformació.

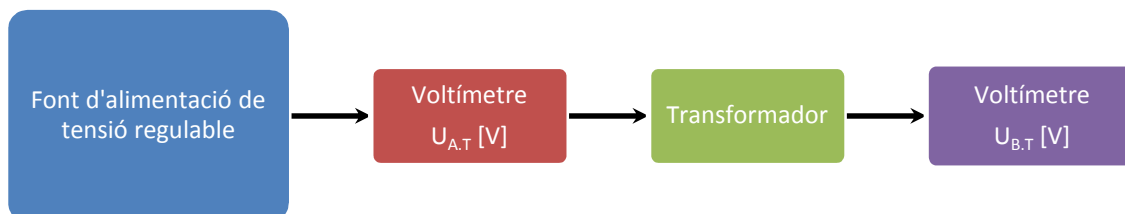


Figura 2. Diagrama de mesura de la relació de transformació

3.2.2.4 – Resultats obtinguts

- Transformador 1

Debanat	Primari	Secundari	m
L1	1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1	2,04
L1	1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1	2,04
L2	1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1	2,04
L2	1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1	2,04
L3	1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1	2,04
L3	1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1	2,04

Taula 9. Mesura de la relació de transformació del Trafo 001

- Transformador 002

Debanat	Primari	Secundari	m
L1	1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1	2,03
L1	1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1	2,03
L2	1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1	2,03
L2	1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1	2,04
L3	1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1	2,04
L3	1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1	2,04

Taula 10. Mesura de la relació de transformació del Trafo 002

- Transformador 003

Debanat	Primari	Secundari	m
L1	1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1	2,04
L1	1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1	2,04
L2	1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1	0,43
L2	1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1	2,04
L3	1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1	0,46
L3	1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1	0,31

Taula 11. Mesura de la relació de transformació del Trafo 003

S'observa en aquest transformador que no es compleix la relació de transformació en tres de les sis bobines.

Cada transformador porta un magnetotèrmic per a cada fase, això pot ser degut que el magnetotèrmic s'hagués disparat i al aplicar tensió en un debanat no s'induí bé en l'altre.

- Transformador 004

Debanat	Primari	Secundari	m
L1	1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1	2,04
L1	1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1	2,04
L2	1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1	2,05
L2	1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1	2,04
L3	1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1	2,04
L3	1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1	2,05

Taula 12. Mesura de la relació de transformació del Trafo 004

- Transformador 005

Primari	Secundari	m
1.12 - 1.11	2.12 - 2.11	2,04
1.22 - 1.21	2.22 - 2.21	2,04

Taula 13. Mesura de la relació de transformació del Trafo 005

- Transformador 006

Primari	Secundari	m
1.12 - 1.11	2.12 - 2.11	2,06
1.22 - 1.21	2.22 - 2.21	2,06

Taula 14. Mesura de la relació de transformació del Trafo 006

- Transformador 007

Primari	Secundari	m
1.12 - 1.11	2.12 - 2.11	2,04
1.22 - 1.21	2.22 - 2.21	2,04

Taula 15. Mesura de la relació de transformació del Trafo 007

- Transformador 008

Primari	Secundari	m
1.12 - 1.11	2.12 - 2.11	2,06
1.22 - 1.21	2.22 - 2.21	2,06

Taula 16. Mesura de la relació de transformació del Trafo 008

Per més informació observar l'annex 1.2- *Assaig de mesura de la relació de transformació* i les fulles de càlcul de cada transformador.

3.2.3 – Mesura de les pèrdues i del corrent de buit

3.2.3.1 – Objectius específics

Mitjançant aquest assaig es pretén obtenir tres paràmetres rellevants en l'assaig de màquines elèctriques com són les pèrdues en buit (P_0), la intensitat en buit (I_0) i la tensió en buit (U_0).

Les pèrdues en buit són la potència activa absorbida quan la tensió assignada a la freqüència assignada, s'aplica en borns d'un debanat, estan a circuit obert l'altre o altres debanats.

El corrent de buit és el valor eficaç del corrent que arriba a un born de línia d'un debanat quan s'aplica a aquest debanat la tensió assignada a la freqüència assignada, estan a circuit obert l'altre o altres debanats.

La tensió en buit és la tensió induïda en un debanat en circuit obert quan s'aplica en borns de l'altre la tensió assignada a la freqüència assignada.

3.2.3.2 – Llistat de material

En aquest assaig es diferencia la llista de material per a un transformador monofàsic i per un trifàsic.

Transformador monofàsic

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable
- 2 Voltímetres en CA
 - o Un serveix per mesurar la tensió aplicada $U_{B,T}$ i l'altre per mesurar la tensió induïda U_0 .
- 1 Amperímetre en CA per mesurar I_0
- 1 Vatímetre per mesurar la potència activa absorbida, P_0
- 1 Transformador monofàsic

Transformador trifàsic

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable
- 6 Voltímetres en CA
 - o Tres serveixen per mesurar la tensió aplicada $U_{B,T}$ i els altres tres per mesurar la tensió induïda U_0 , ambdós de cada fase
- 3 Amperímetres en CA per mesurar I_0
- 2 Vatímetres per mesurar la potència total activa absorbida, P_0
- 1 Transformador trifàsic

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori.*

3.2.3.3 – Procediment d'assaig

L'assaig es realitza pel costat de baixa tensió del transformador a fi de facilitar la lectura dels aparells de mesura fent que la intensitat sigui el més elevada possible. La diferència entre el valors de costat de B.T. i A.T és simplement la relació de transformació. Això té relació amb la precisió de l'aparell de mesura utilitzat.

Aquest assaig consisteix en aplicar tensió al costat de baixa tensió del transformador, tenint el costat de alta tensió sense càrrega, és a dir, treballant en buit. Amb els aparells de mesura descrits anteriorment es prenent les lectures pertinents.

Una vegada s'ha realitzat el muntatge de l'esquema 3, 10 o 11 es procedeix a:

- 1 – Es dona tensió a la font d'alimentació fins que s'observi que el wattímetre comença a marcar potència. Aquest és el punt de partida.
- 2- A partir d'aquest valor de tensió, es dona tensió progressivament, incrementant a petits escalons, fins arribar al 110% de la tensió. Per cada valor de tensió escollit es prendran les lectures dels aparells de mesura.

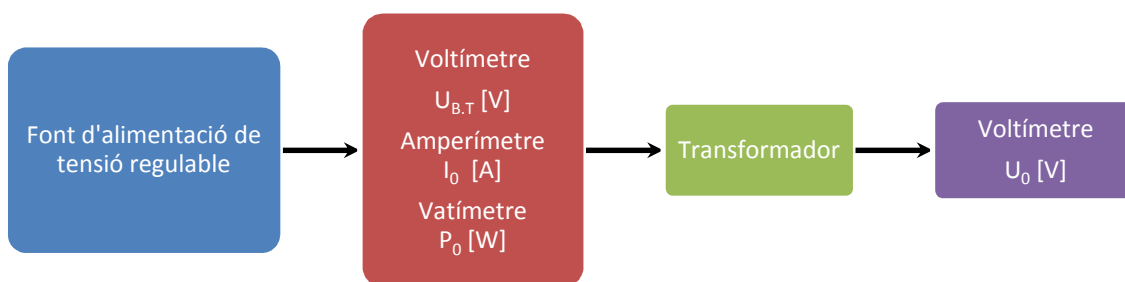


Figura 3. Diagrama de mesura de les pèrdues i del corrent de buit

3.2.3.4 – Pèrdues obtingudes

En quan a obtenció de pèrdues, mitjançant aquest assaig s'aconsegueix obtenir la potència absorbida en buit, és a dir, la potència que utilitza la màquina per generar camps magnètics.

Si es realitza un balanç de pèrdues s'obté el següent:

$$P_0 = P_{cu10} + P_{cu20} + P_{Fe} = R_1 \cdot I_{01}^2 + R_2 \cdot I_{02}^2 + P_{Fe} \quad [W]$$

Equació 3. Pèrdues en buit

Quan es mesura les pèrdues en buit s'està mesurant les pèrdues per efecte Joule en buit en ambdós debanats i les pèrdues al ferro.

Degut a que estem treballant en buit, la intensitat en buit del debanat secundari, I_{02} , té un valor molt baix i per tant les pèrdues per efecte Joule en buit en el debanat secundari són menyspreables. També ho són en el debanat primari ja que aquest al estar treballant en buit, I_{01} és zero.

Finalment, s'afirma que la potència absorbida en buit coincideix pràcticament amb les pèrdues al ferro.

3.2.3.5 – Resultats obtinguts

- Transformador 001

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

Rang de tensions (%)	$U_{B.T}$ [V]	U_0 [V]	I_0 [A]	P_0 [W]	m	$\cos \varphi_0$	φ_0 [°]	Q_0 [VAR]	S_0 [VA]	P_{cu0} [W]
37%	40,2	82,33	0,21	5,57	2,05	0,37	67,99	13,77	14,85	0,04
44%	48,2	98,33	0,23	7,13	2,04	0,38	67,85	17,53	18,92	0,04
55%	60,03	122,00	0,26	10,97	2,03	0,41	66,07	24,71	27,04	0,05
62%	68	138,00	0,29	13,37	2,03	0,39	67,24	31,86	34,55	0,07
71%	78,27	159,67	0,34	17,83	2,04	0,39	67,24	42,50	46,09	0,09
78%	86,07	175,67	0,40	21,83	2,04	0,37	68,52	55,49	59,63	0,12
89%	98,10	199,33	0,56	28,07	2,03	0,30	72,74	90,33	94,59	0,24
101%	110,77	225,33	0,84	38,30	2,03	0,24	76,25	156,54	161,16	0,55
109%	119,63	242,67	1,13	45,90	2,03	0,20	78,70	229,61	234,15	0,99
118%	129,70	263,00	1,62	53,47	2,03	0,15	81,55	359,98	363,93	2,03
124%	135,90	276,33	2,15	63,03	2,03	0,12	82,85	502,14	506,08	3,57
126%	138,33	280,33	2,37	62,63	2,03	0,11	83,66	563,58	567,05	4,33
Punt de tensió nominal	110,77	225,33	0,84	38,30	2,03	0,24	76,25	156,54	161,16	0,55

Taula 17. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 001_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

Rang de tensions (%)	$U_{B.T}$ [V]	U_0 [V]	I_0 [A]	P_0 [W]	m	$\cos \varphi_0$	φ_0 [°]	Q_0 [VAR]	S_0 [VA]	P_{cu0} [W]
37%	40,53	82,67	0,25	6,53	2,04	0,38	67,84	16,04	17,32	0,04
44%	48,13	98,33	0,24	7,63	2,04	0,38	67,57	18,50	20,01	0,04
55%	60,17	122,67	0,28	11,43	2,04	0,40	66,64	26,47	28,83	0,06
62%	68,27	139,00	0,28	14,23	2,04	0,43	64,54	29,89	33,11	0,06
71%	78,17	159,00	0,31	17,97	2,03	0,42	64,94	38,43	42,42	0,07
81%	88,93	180,67	0,42	23,43	2,03	0,37	68,59	59,75	64,18	0,13
91%	99,60	202,67	0,54	29,63	2,03	0,32	71,45	88,32	93,16	0,21
101%	111,13	225,33	0,83	38,83	2,03	0,24	75,93	154,97	159,77	0,51
112%	123,23	250,67	1,29	50,87	2,03	0,18	79,35	270,61	275,35	1,22
121%	133,30	270,33	1,88	60,43	2,03	0,14	82,00	429,83	434,06	2,59
126%	138,90	282,33	2,48	66,93	2,03	0,11	83,55	592,07	595,84	4,50
Punt de tensió nominal	111,13	225,33	0,83	38,83	2,03	0,24	75,93	154,97	159,77	0,51

Taula 18. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 001_2

- Transformador 002

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

Rang de tensions (%)	$U_{B.T}$ [V]	U_0 [V]	I_0 [A]	P_0 [W]	m	$\cos \varphi_0$	φ_0 [°]	Q_0 [VAr]	S_0 [VA]	P_{cu0} [W]
37%	40,7	82,67	0,21	5,60	2,03	0,37	68,12	13,94	15,03	0,04
45%	49,9	102,33	0,25	7,93	2,05	0,36	68,74	20,39	21,88	0,05
55%	60,2	122,33	0,25	11,20	2,03	0,44	64,20	23,17	25,73	0,05
64%	70,6	143,33	0,30	14,57	2,03	0,40	66,59	33,65	36,67	0,08
75%	82,1	167,67	0,37	19,83	2,04	0,37	68,07	49,27	53,11	0,12
83%	91,5	185,67	0,45	24,57	2,03	0,34	69,85	66,95	71,32	0,17
93%	102,5	208,33	0,59	31,20	2,03	0,30	72,56	99,34	104,12	0,29
101%	111,5	226,33	0,78	37,53	2,03	0,25	75,51	145,22	149,99	0,51
111%	122,6	248,67	1,11	47,20	2,03	0,20	78,45	230,87	235,64	1,03
121%	133,2	269,67	1,65	58,37	2,02	0,15	81,18	376,17	380,67	2,29
127%	139,4	283,33	2,27	63,20	2,03	0,12	83,38	544,43	548,09	4,33
Punt de tensió nominal	111,50	226,33	0,78	37,53	2,03	0,25	75,51	145,22	149,99	0,51

Taula 19. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 002_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

Rang de tensions (%)	$U_{B,T}$ [V]	U_0 [V]	I_0 [A]	P_0 [W]	m	$\cos \varphi_0$	φ_0 [°]	Q_0 [VAr]	S_0 [VA]	P_{cu0} [W]
39%	42,90	80,00	0,24	5,43	1,86	0,30	72,26	16,99	17,83	0,04
49%	53,60	102,00	0,30	8,47	1,90	0,30	72,30	26,53	27,85	0,06
58%	63,90	122,67	0,30	10,93	1,92	0,33	70,99	31,74	33,57	0,06
68%	74,83	144,67	0,34	15,33	1,93	0,34	69,85	41,78	44,50	0,08
78%	85,93	165,00	0,42	19,27	1,92	0,31	71,90	58,95	62,02	0,12
88%	96,80	189,33	0,48	23,70	1,96	0,29	72,99	77,49	81,04	0,16
96%	105,57	207,33	0,62	30,40	1,96	0,27	74,36	108,58	112,76	0,27
104%	114,37	224,67	0,77	36,17	1,96	0,24	76,34	148,86	153,19	0,42
113%	124,47	245,33	1,06	44,93	1,97	0,20	78,66	224,06	228,52	0,79
122%	133,90	265,33	1,50	54,93	1,98	0,16	80,91	343,52	347,88	1,58
126%	138,87	280,67	2,10	62,47	2,02	0,12	82,91	502,03	505,90	3,10
Punt de tensió nominal	114,37	224,67	0,77	36,17	1,96	0,24	76,34	148,86	153,19	0,42

Taula 20. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 002_2

- Transformador 003

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

Rang de tensions (%)	$U_{B.T}$ [V]	U_0 [V]	I_0 [A]	P_0 [W]	m	$\cos \varphi_0$	φ_0 [°]	Q_0 [VAr]	S_0 [VA]	P_{cu0} [W]
36%	39,6	104,67	0,22	5,73	2,65	0,37	68,00	14,19	15,31	0,05
45%	49,2	130,33	0,27	8,20	2,65	0,36	68,83	21,18	22,71	0,07
55%	60,0	158,33	0,29	11,43	2,64	0,37	67,98	28,28	30,50	0,08
64%	70,6	186,67	0,32	14,83	2,64	0,38	67,48	35,77	38,72	0,09
74%	81,0	213,33	0,37	19,03	2,63	0,36	68,69	48,80	52,38	0,13
85%	93,5	247,00	0,46	25,97	2,64	0,35	69,75	70,40	75,04	0,20
94%	103,8	273,67	0,58	32,03	2,64	0,31	72,01	98,64	103,71	0,30
101%	111,0	292,33	0,72	38,37	2,63	0,28	73,91	133,05	138,47	0,48
110%	120,5	317,33	0,95	45,17	2,63	0,23	76,88	193,83	199,03	0,83
119%	131,3	346,33	1,43	56,90	2,64	0,18	79,90	319,42	324,45	1,87
129%	141,5	373,67	2,48	70,60	2,64	0,12	83,33	603,55	607,67	5,64
Punt de tensió nominal	111,03	292,33	0,72	38,37	2,63	0,28	73,91	133,05	138,47	0,48

Taula 21. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 003_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

Rang de tensions (%)	$U_{B.T}$ [V]	U_0 [V]	I_0 [A]	P_0 [W]	m	$\cos \varphi_0$	φ_0 [°]	Q_0 [VAr]	S_0 [VA]	P_{cu0} [W]
41%	45,30	86,33	0,26	6,87	1,91	0,34	70,33	19,21	20,40	0,06
50%	55,43	108,00	0,26	8,80	1,95	0,36	69,08	23,02	24,64	0,06
60%	65,93	130,00	0,31	12,57	1,97	0,35	69,21	33,10	35,40	0,08
70%	76,90	150,67	0,35	16,23	1,96	0,34	69,82	44,17	47,06	0,11
80%	88,47	177,00	0,39	21,07	2,00	0,36	69,17	55,38	59,25	0,13
89%	98,37	196,00	0,47	26,43	1,99	0,33	70,73	75,59	80,08	0,19
98%	107,40	218,00	0,60	32,73	2,03	0,29	73,04	107,35	112,23	0,31
105%	115,37	232,33	0,73	38,13	2,01	0,26	74,92	141,49	146,54	0,46
113%	124,47	251,67	0,98	45,73	2,02	0,22	77,54	207,00	211,99	0,84
121%	133,63	272,33	1,41	56,37	2,04	0,17	80,05	321,45	326,36	1,72
126%	138,40	286,67	2,06	66,60	2,07	0,13	82,26	490,11	494,61	3,68
Punt de tensió nominal	115,37	232,33	0,73	38,13	2,01	0,26	74,92	141,49	146,54	0,46

Taula 22. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 003_2

- Transformador 004

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

Rang de tensions (%)	$U_{B.T}$ [V]	U_0 [V]	I_0 [A]	P_0 [W]	m	$\cos \varphi_0$	φ_0 [°]	Q_0 [VAr]	S_0 [VA]	P_{cu0} [W]
33%	36,8	74,67	0,22	5,10	2,03	0,36	68,99	13,28	14,22	0,04
41%	45,6	93,00	0,26	7,83	2,04	0,38	67,86	19,25	20,78	0,05
51%	55,6	113,33	0,29	10,23	2,04	0,37	68,23	25,62	27,59	0,06
61%	67,1	137,33	0,31	13,67	2,05	0,38	67,71	33,34	36,03	0,07
70%	77,0	156,00	0,31	18,13	2,03	0,43	64,29	37,67	41,81	0,07
80%	88,1	179,33	0,39	22,47	2,04	0,37	68,02	55,66	60,02	0,11
89%	97,7	198,00	0,51	28,00	2,03	0,32	71,07	81,63	86,30	0,19
101%	111,1	226,00	0,70	37,17	2,03	0,27	74,06	130,10	135,30	0,36
110%	120,9	245,67	0,91	46,13	2,03	0,24	75,94	184,17	189,86	0,60
119%	130,5	264,67	1,27	55,23	2,03	0,19	78,87	280,86	286,23	1,18
126%	138,7	281,00	1,90	63,30	2,03	0,14	82,01	451,12	455,54	2,64
Punt de tensió nominal	111,07	226,00	0,70	37,17	2,03	0,27	74,06	130,10	135,30	0,36

Taula 23. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 004_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

Rang de tensions (%)	$U_{B.T}$ [V]	U_0 [V]	I_0 [A]	P_0 [W]	m	$\cos \varphi_0$	φ_0 [°]	Q_0 [VAr]	S_0 [VA]	P_{cu0} [W]
38%	41,59	78,00	0,23	5,50	1,88	0,33	70,90	15,88	16,81	0,04
47%	52,00	99,33	0,25	7,83	1,91	0,18	79,51	22,14	23,49	0,05
56%	61,47	118,67	0,29	10,87	1,93	0,18	79,37	30,00	31,90	0,07
66%	72,27	139,67	0,30	14,23	1,93	0,19	78,82	37,25	39,87	0,07
75%	82,77	160,67	0,34	17,93	1,94	0,19	79,18	48,34	51,56	0,09
85%	93,40	183,67	0,43	23,93	1,97	0,17	80,00	69,04	73,07	0,15
94%	103,67	203,00	0,51	29,00	1,96	0,16	80,69	90,37	94,91	0,21
105%	115,53	226,67	0,71	37,33	1,96	0,13	82,30	140,80	145,66	0,40
114%	125,10	248,67	0,96	46,53	1,99	0,11	83,56	207,42	212,57	0,74
121%	132,77	264,33	1,28	53,30	1,99	0,09	84,80	293,90	298,69	1,31
126%	138,20	280,00	1,87	65,03	2,03	0,07	85,90	447,27	451,97	2,79
Punt de tensió nominal	115,53	226,67	0,71	37,33	1,96	0,13	82,30	140,80	145,66	0,40

Taula 24. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 004_2

- Transformador 005

2.12-2.11

1.12-1.11

Rang de tensions (%)	$U_{B.T}$ [V]	U_0 [V]	I_0 [A]	Vatímetre		m	$\cos \varphi_0$	φ_0 [°]	Q_0 [VAr]	S_0 [VA]	P_{cu0} [W]
				P_0 [W]	Font						
39%	42,6	86	0,22	6	5	2,02	0,64	50,19	7,20	8,77	0,01
49%	53,5	108	0,27	9	9	2,02	0,62	51,46	11,30	14,45	0,01
55%	60	121	0,32	11	12	2,02	0,57	55,05	15,74	19,79	0,01
60%	65,6	132	0,36	13	16	2,01	0,55	56,60	19,72	25,39	0,02
68%	74,5	151	0,46	17	25	2,03	0,50	60,26	29,76	38,86	0,03
76%	83,4	169	0,61	20	41	2,03	0,39	66,85	46,78	62,20	0,04
83%	90,8	183	0,77	24	61	2,02	0,34	69,92	65,67	89,63	0,07
89%	98,3	198	0,99	28	90	2,01	0,29	73,28	93,20	129,56	0,12
96%	106,1	214	1,3	34	134	2,02	0,25	75,73	133,67	189,27	0,20
100%	110	220	1,450	36	155	2,00	0,23	76,96	155,38	219,47	0,25
103%	113	228	1,660	39	187	2,02	0,21	78,00	183,48	261,98	0,33
110%	120,5	243	2,220	46	271	2,02	0,17	80,10	263,53	378,00	0,59
115%	126,2	255	2,980	54	402	2,02	0,14	81,74	372,18	547,83	1,06
120%	132,4	267	4,050	64	583	2,02	0,12	83,15	532,39	789,51	1,95
125%	137	276	5,190	73	795	2,01	0,10	84,11	707,27	1064,08	3,20
Punt de tensió nominal	110	220	1,450	36	155	2	0,23	76,96	155,38	219,47	0,25

Taula 25. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 005_1

2.22-2.21

1.22-1.21

	Watímetre				Font						
Rang de tensions (%)	U _{B.T} [V]	U ₀ [V]	I ₀ [A]	P ₀ [W]	P ₀ [W]	m	cos φ ₀	φ ₀ [°]	Q ₀ [VAr]	S ₀ [VA]	P _{cu0} [W]
38%	42,2	85	0,22	6	5	2,01	0,65	49,74	7,08	8,67	0,01
45%	49,8	100	0,25	8	7	2,01	0,64	50,02	9,54	11,83	0,01
53%	58,8	118	0,31	10	11	2,01	0,55	56,73	15,24	18,80	0,01
62%	68,1	138	0,39	14	18	2,03	0,53	58,19	22,57	28,87	0,02
69%	75,8	153	0,48	17	27	2,02	0,47	62,14	32,17	42,00	0,03
75%	82	165	0,58	20	38	2,01	0,42	65,13	43,15	57,50	0,04
83%	91,8	186	0,81	25	66	2,03	0,34	70,35	70,03	96,23	0,09
93%	102,3	206	1,13	31	109	2,01	0,27	74,44	111,36	155,83	0,17
100%	110	222	1,5	37	162	2,02	0,22	77,04	160,80	228,25	0,29
107%	117,6	237	1,96	43	231	2,02	0,19	79,25	226,45	323,48	0,50
114%	125	253	2,73	52	364	2,02	0,15	81,24	337,26	496,23	0,97
125%	137,5	277	5,33	75	814	2,01	0,10	84,13	729,03	1092,74	3,69
Punt de tensió nominal	110	222	1,5	37	162	2,02	0,22	77,04	160,80	228,25	

Taula 26. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 005_2

- Transformador 006

2.12-2.11

1.12-1.11

Rang de tensions (%)	Watímetre					Font						
	U _{B.T} [V]	U ₀ [V]	I ₀ [A]	P ₀ [W]	P ₀ [W]	m	cos φ ₀	φ ₀ [°]	Q ₀ [VAr]	S ₀ [VA]	P _{cu0} [W]	
38%	41,7	84	0,23	5	6	2,01	0,52	58,58	8,18	10,15	0,01	
47%	51,3	104	0,28	8	9	2,03	0,56	56,16	24,19	25,81	0,01	
58%	63,5	128	0,38	12	17	2,02	0,50	60,18	42,20	45,49	0,02	
66%	73	147	0,49	16	27	2,01	0,45	63,43	64,42	69,85	0,03	
75%	83	168	0,69	21	48	2,02	0,37	68,49	107,85	118,05	0,06	
83%	91,4	185	0,93	25	78	2,02	0,29	72,90	164,44	182,00	0,11	
91%	100,6	203	1,28	31	125	2,02	0,24	76,07	252,20	281,48	0,20	
101%	110,6	223	1,86	39	204	2,02	0,19	79,07	407,26	455,49	0,42	
111%	121,8	246	2,89	51	371	2,02	0,14	81,67	703,44	795,28	1,02	
119%	131,2	265	4,760	67	692	2,02	0,11	83,84	1254,12	1432,37	2,76	
125%	138	278	7,140	86	1130	2,01	0,09	84,99	1977,34	2277,45	6,20	
Punt de tensió nominal	110,6	223	1,860	39	204	2,02	0,19	79,07	407,26	455,49	0,42	

Taula 27. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 006_1

2.22-2.21

1.22-1.21

	Watímetre				Font						
Rang de tensions (%)	U _{B.T} [V]	U ₀ [V]	I ₀ [A]	P ₀ [W]	P ₀ [W]	m	cos φ ₀	φ ₀ [°]	Q ₀ [VAr]	S ₀ [VA]	P _{cu0} [W]
37%	40,3	81	0,22	5	5	2,01	0,56	55,67	7,32	8,87	0,01
48%	53,2	107	0,3	8	10	2,01	0,50	59,92	13,81	17,05	0,01
56%	62	125	0,36	11	15	2,02	0,49	60,47	19,42	24,54	0,02
65%	71	143	0,46	15	24	2,01	0,46	62,66	29,01	37,65	0,03
74%	81,6	165	0,66	20	45	2,02	0,37	68,20	50,00	67,27	0,07
85%	93,2	188	0,98	26	84	2,02	0,28	73,46	87,56	121,34	0,15
94%	103,5	209	1,42	33	141	2,02	0,22	77,02	143,22	200,98	0,31
100%	110	221	1,79	38	196	2,01	0,19	78,87	193,20	275,21	0,49
106%	116,2	234	2,28	44	276	2,01	0,17	80,44	261,26	380,04	0,80
113%	124	250	3,13	53	412	2,02	0,14	82,15	384,48	563,54	1,50
119%	130,6	263	4,51	66	657	2,01	0,11	83,57	585,30	879,90	3,12
125%	138	278	7,1	86	1112	2,01	0,09	84,96	976,02	1479,58	7,73
Punt de tensió nominal	110	221	1,79	38	196	2,01	0,19	78,87	193,20	275,21	0,49

Taula 28. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 006_2

- Transformador 007

2.12-2.11

1.12-1.11

Rang de tensions (%)	$U_{B,T}$ [V]	U_0 [V]	I_0 [A]	Watímetre		m	$\cos \varphi_0$	φ_0 [°]	Q_0 [VAr]	S_0 [VA]	P_{cu0} [W]
				P_0 [W]	Font P_0 [W]						
41%	45,4	92	0,24	6	6	2,03	0,55	56,59	9,10	10,90	0,01
50%	54,7	110	0,29	8	10	2,01	0,50	59,71	13,70	16,96	0,01
57%	63,2	128	0,35	11	15	2,03	0,50	60,18	19,19	24,36	0,02
65%	72	145	0,45	15	24	2,01	0,46	62,42	28,72	37,43	0,03
77%	84,4	170	0,64	20	48	2,01	0,37	68,27	50,18	69,44	0,06
84%	92	185	0,86	24	71	2,01	0,30	72,34	75,39	103,56	0,10
92%	101,6	205	1,19	30	115	2,02	0,25	75,63	117,12	164,14	0,20
100%	110,1	222	1,62	36	178	2,02	0,20	78,36	174,69	249,40	0,36
112%	123,6	250	2,79	51	367	2,02	0,15	81,50	341,05	501,00	1,07
118%	129,6	261	3,780	60	538	2,01	0,12	82,96	486,20	725,14	1,97
125%	137,5	278	6,300	81	978	2,02	0,09	84,63	862,45	1303,96	5,47
Punt de tensió nominal	110,1	222	1,62	36	178	2,02	0,20	78,36	174,69	249,40	0,36

Taula 29. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 007_1

2.22-2.21

1.22-1.21

	Watímetre				Font							
Rang de tensions (%)	U _{B,T} [V]	U ₀ [V]	I ₀ [A]	P ₀ [W]	P ₀ [W]	m	cos φ ₀	φ ₀ [°]	Q ₀ [VAr]	S ₀ [VA]	P _{cu0} [W]	
38%	41,5	84	0,22	4	5	2,02	0,44	64,02	8,21	9,61	0,01	
48%	53,3	107	0,28	8	9	2,01	0,54	57,58	12,60	15,48	0,01	
57%	62,5	126	0,35	11	15	2,02	0,50	59,81	18,91	24,14	0,02	
65%	71,8	145	0,45	14	24	2,02	0,43	64,32	29,12	37,74	0,03	
74%	81,2	164	0,61	19	40	2,02	0,38	67,44	45,74	60,77	0,05	
84%	92,3	187	0,88	24	74	2,03	0,30	72,81	77,60	107,23	0,10	
93%	102,3	207	1,23	30	120	2,02	0,24	76,21	122,20	171,27	0,20	
100%	110	222	1,63	36	179	2,02	0,20	78,42	175,65	250,79	0,35	
111%	121,7	245	2,53	48	328	2,01	0,16	81,03	304,14	447,31	0,85	
121%	133,2	268	4,62	67	670	2,01	0,11	83,75	611,73	907,25	2,83	
125%	137	276	6,05	77	930	2,01	0,09	84,67	825,27	1243,37	4,85	
Punt de tensió nominal	110	222	1,63	36	179	2,02	0,20	78,42	175,65	250,79	0,35	

Taula 30. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 007_2

- Transformador 008

2.12-2.11

1.12-1.11

Rang de tensions (%)	Watímetre				Font						
	U _{B.T} [V]	U ₀ [V]	I ₀ [A]	P ₀ [W]	P ₀ [W]	m	cos φ ₀	φ ₀ [°]	Q ₀ [VAr]	S ₀ [VA]	P _{cu0} [W]
44%	48	97	0,25	8	7	2,02	0,67	48,19	8,94	11,36	0,01
51%	56,4	114	0,3	10	10	2,02	0,59	53,77	13,65	16,92	0,01
58%	64,1	130	0,36	13	15	2,03	0,56	55,71	19,07	24,26	0,02
69%	76	153	0,5	18	29	2,01	0,47	61,73	33,47	44,28	0,03
77%	84,8	171	0,66	21	47	2,02	0,38	67,96	51,88	70,00	0,05
86%	94,7	191	0,93	27	80	2,02	0,31	72,15	83,83	115,88	0,11
94%	103	208	1,22	32	120	2,02	0,25	75,25	121,52	170,78	0,18
100%	110,4	223	1,61	38	177	2,02	0,21	77,66	173,63	247,95	0,32
112%	123,4	250	2,85	52	374	2,03	0,15	81,50	347,82	510,74	1,01
117%	129,1	260	3,85	61	544	2,01	0,12	82,95	493,28	734,34	1,84
125%	138	279	7,25	87	1141	2,02	0,09	85,01	996,71	1515,03	6,52
Punt de tensió nominal	110,4	223	1,61	38	177	2,02	0,21	77,66	173,63	247,95	0,32

Taula 31. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 008_1

2.22-2.21

1.22-1.21

Taula 1. Característiques dels dispositius de protecció												
Rang de tensions (%)	Watímetre					Font						
	U _{B.T} [V]	U ₀ [V]	I ₀ [A]	P ₀ [W]	P ₀ [W]	m	cos φ ₀	φ ₀ [°]	Q ₀ [VAr]	S ₀ [VA]	P _{cu0} [W]	
39%	43,3	87	0,23	6	6	2,01	0,60	52,95	15,97	17,06	0,01	
46%	50,7	102	0,26	8	8	2,01	0,61	52,64	21,08	22,54	0,01	
56%	61,1	123	0,33	12	13	2,01	0,60	53,48	32,62	35,11	0,02	
65%	71,7	145	0,44	15	22	2,02	0,48	61,61	56,13	60,28	0,03	
76%	83,2	168	0,63	21	44	2,02	0,40	66,38	96,97	106,49	0,06	
87%	95,2	192	0,94	27	82	2,02	0,30	72,44	172,07	190,61	0,13	
96%	105,7	213	1,35	34	138	2,02	0,24	76,22	279,27	311,50	0,27	
100%	110	222	1,6	38	175	2,02	0,22	77,53	346,82	388,47	0,37	
114%	125,8	254	3,21	56	436	2,02	0,14	82,03	807,46	917,66	1,50	
125%	137	275	6,46	82	989	2,01	0,09	84,68	1768,86	2026,57	6,09	
Punt de tensió nominal	110	222	1,6	38	175	2,02	0,22	77,53	346,82	388,47		

Taula 32. Mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 008_2

En tots els càlculs dut a terme en el transformador monofàsic, s'ha agafat la potència en buit que marca en watímetre i no del de la de la font.

Per més informació observar l'annex 1.3- Assaig de mesura de les pèrdues i del corrent de buit i les fulles de càlcul de cada transformador.

3.2.4 – Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega

3.2.4.1 – Objectius específics

Aquest assaig també es realitza pel costat de baixa tensió del transformador però per diferent motiu. En aquest cas té a veure amb la tensió d'alimentació, amb la tensió de curtcircuit, U_{cc} .

En el laboratori d'assaig és necessita obtenir aquesta tensió per realitzar l'assaig, si és el cas d'una màquina de tensions elevades, és més fàcil obtenir el valor d'aquesta tensió per la part de baixa tensió que per la part d'alta ja que la tensió de curtcircuit és un percentatge de la tensió nominal.

Amb la realització d'aquest assaig es mesura la tensió de curtcircuit (U_{cc}) i les pèrdues degudes a la càrrega (P_{cc}) a la freqüència assignada aplicant una tensió sinusoïdal en borns d'un debanat, estan l'altre posat en curtcircuit. La intensitat subministrada hauria de ser igual a la intensitat assignada o el més pròxima possible.

La impedància de curtcircuit es representa com una reactància i una resistència de corrent alterna posades en sèrie, $Z = R + jX$, en ohms, a la freqüència assignada en borns d'un dels dos debanats, d'un parell, havent-hi un curtcircuit ens borns de l'altre debanat. Si fos el cas de que hi hagués més debanats, han d'estar en circuit obert.

Amb els valors obtinguts en aquest assaig es calcula la impedància de curtcircuit.

Les pèrdues degudes a la càrrega són la potència activa absorbida a la freqüència assignada i a la temperatura de referència, associada a un parell de debanats quan el corrent assignat travessa els borns de línia d'un dels debanats, havent-hi un curtcircuit en borns de l'altre debanat. Si fos el cas de que hi hagués més debanat, han d'estar en circuit obert.

La tensió de curtcircuit és la tensió aplicada necessària per a que circuli la intensitat nominal pel debanat alimentat per la font de tensió. Aquesta tensió acostuma a tenir un valor baix respecte a la tensió nominal aplicada al transformador quan està en càrrega.

3.2.4.2 – Llistat de material

En aquest assaig es diferencia la llista de material per a un transformador monofàsic i per un trifàsic.

Transformador monofàsic

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable
- 1 Voltímetre en CA per mesurar la U_{cc}

- 2 Amperímetres en C.A per mesurar la I_{cc} i la $I_{B.T}$ de cada fase
- 1 Vatímetre per mesurar la potència activa absorbida, P_{cc}
- 1 Transformador monofàsic

Transformador trifàsic

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable
- 3 Voltímetre en CA per mesurar la U_{cc}
- 6 Amperímetres en C.A per mesurar la I_{cc} i la $I_{B.T}$ de cada fase.
 - Tres serveixen per mesurar la I_{cc} i els altres tres la $I_{B.T}$
- 2 Vatímetres per mesurar la potència activa absorbida, P_{cc}
- 1 Transformador trifàsic

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori.*

3.2.4.3 – Procediment d'assaig

Una vegada s'ha realitzat el muntatge de l'esquema 4, 12 o 13 es procedeix a:

- 1 – Es dona tensió a la font d'alimentació fins a observar en l'amperímetre que pel debanat alimentat circula el valor de la intensitat nominal.
- 2- Amb la intensitat circulant pels debanat alimentat o el valor més pròxim a ella, es pren nota dels aparells de mesura anomenats anteriorment.

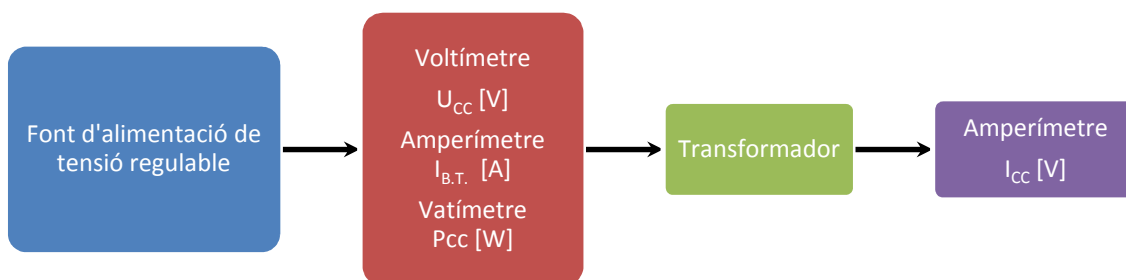


Figura 4. Diagrama de mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega

3.2.4.4 – Pèrdues obtingudes

En quan a obtenció de pèrdues, mitjançant aquest assaig s'aconsegueix obtenir la potència absorbida en curtcircuit.

Si es realitza un balanç de pèrdues s'obté el següent:

$$P_{cc} = P_{cu1} + P_{cu2} + P_{Fe} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 + P_{Fecc} \text{ [W]}$$

Equació 4. Potència absorbida en curtcircuit

Quan es mesura les pèrdues en aquest assaig s'està mesurant les pèrdues per efecte Joule en ambdós debanats i les pèrdues al ferro.

Les pèrdues al ferro, P_{Fe} són funció de la inducció al quadrat i aquesta és funció de la tensió al quadrat.

$$P_{Fe} = f(B^2) = f(U^2) \rightarrow E = 4.44 \cdot f \cdot N \cdot (\tilde{B} \cdot s)$$

Equació 5. Pèrdues en el ferro en funció de la tensió al quadrat

Com que aquest assaig es desenvolupa a una tensió reduïda, U_{cc} , aquesta és molt petita respecte a la tensió nominal. Per tant es considera menyspreables les P_{Fe} en aquest assaig.

$$\frac{P_{Fecc}}{P_{Fe}} = \left(\frac{U_{cc}}{U_N}\right)^2 = \left(\frac{\frac{U_{cc}}{100} \cdot U_N}{U_N}\right)^2 = \left(\frac{U_{cc}}{100}\right)^2 \rightarrow P_{Fecc} = 0$$

Equació 6. Pèrdues en el ferro menyspreables

Finalment, s'afirma que la potència absorbida en curtcircuit coincideix pràcticament amb les pèrdues al coure.

$$P_{cc} = P_{cu1} + P_{cu2} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 \text{ [W]}$$

Equació 7. Pèrdues en el coure

3.2.4.5 – Resultats obtinguts

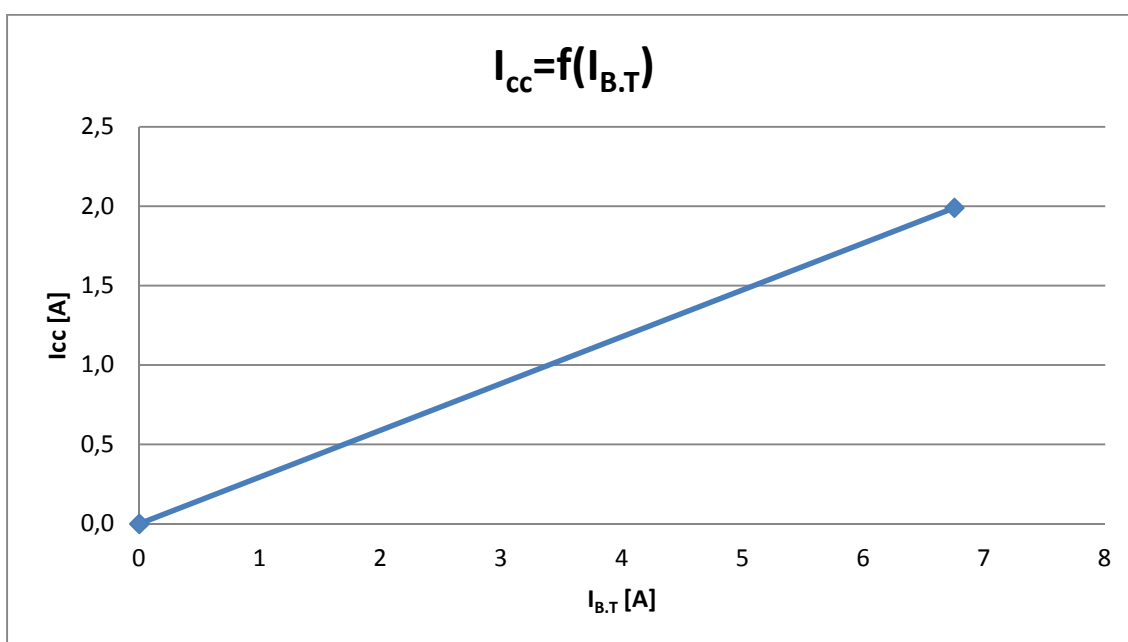
En l'assaig dels transformadors trifàsics no s'hi va posar vatímetre. Les calcules s'ha calculat pel punt de tensió nominal.

- Transformador 001

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{CC} [A]	U_{CC} [V]
6,75	1,99	3,72

Taula 33. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 001_1

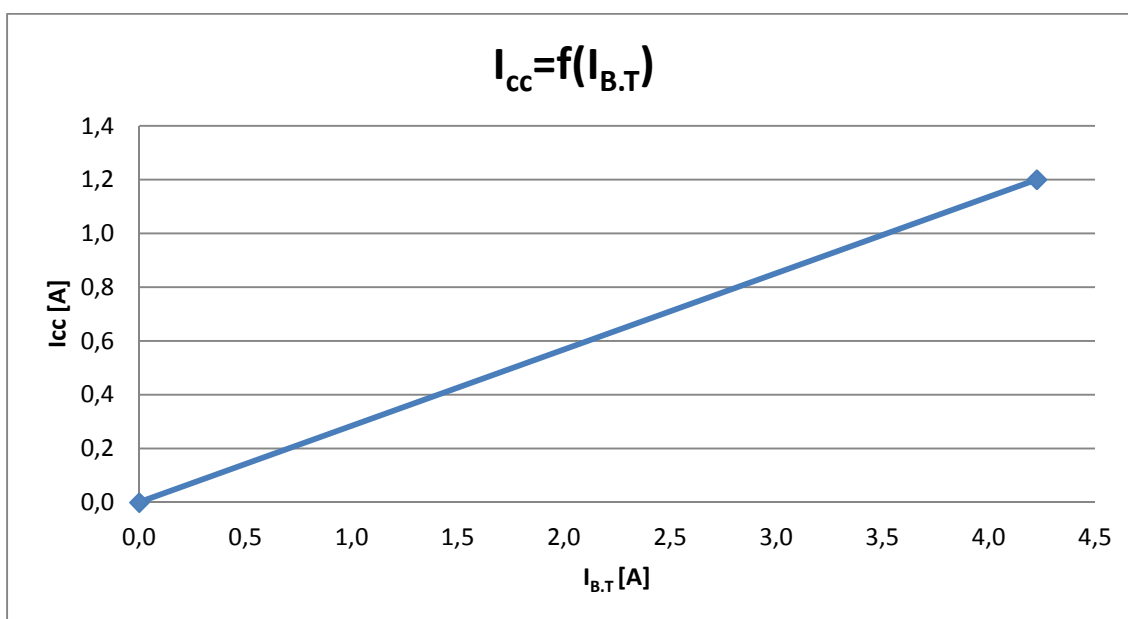


Gràfic 1. Característica de curtcircuit del Trafo 001_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]
4,23	1,20	2,18

Taula 34. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 001_2



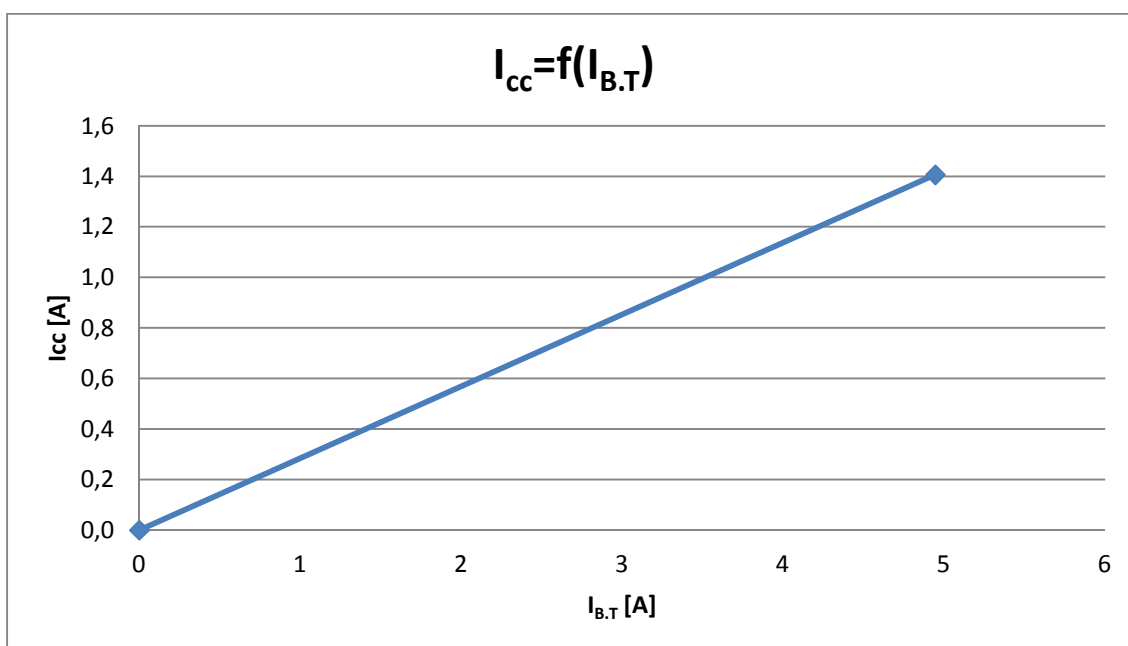
Gràfic 2. Característica de curtcircuit del Trafo 001_2

- Transformador 002

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{CC} [A]	U_{CC} [V]
4,95	1,41	2,76

Taula 35. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 002_1

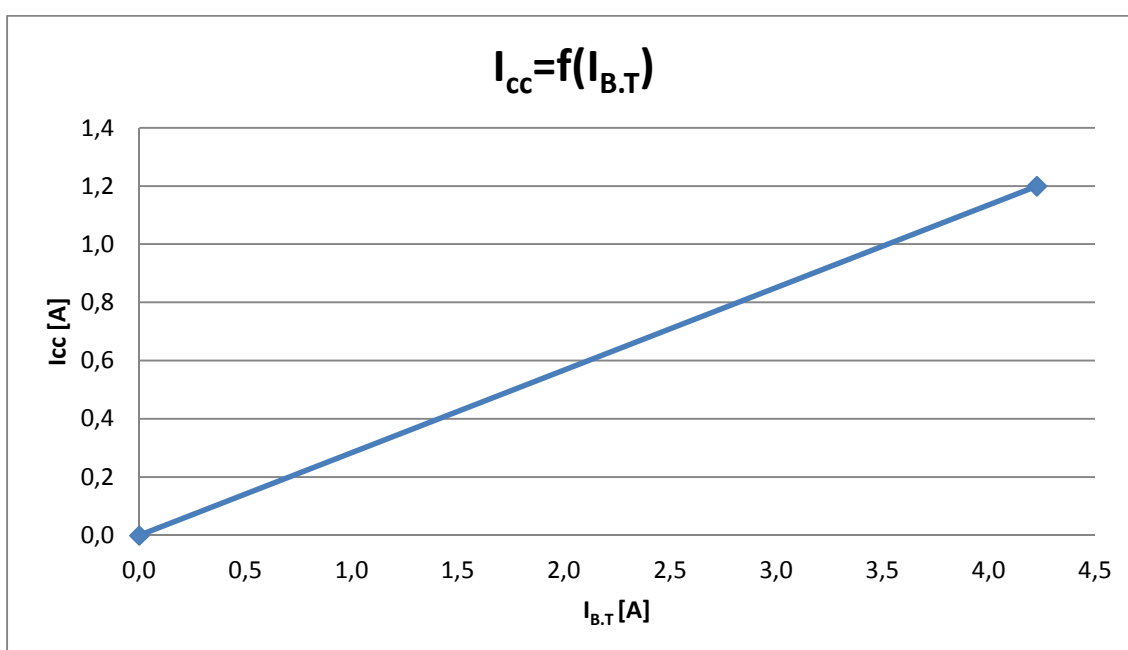


Gràfic 3. Característica de curtcircuit del Trafo 002_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]
4,23	1,20	2,28

Taula 36. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 002_2



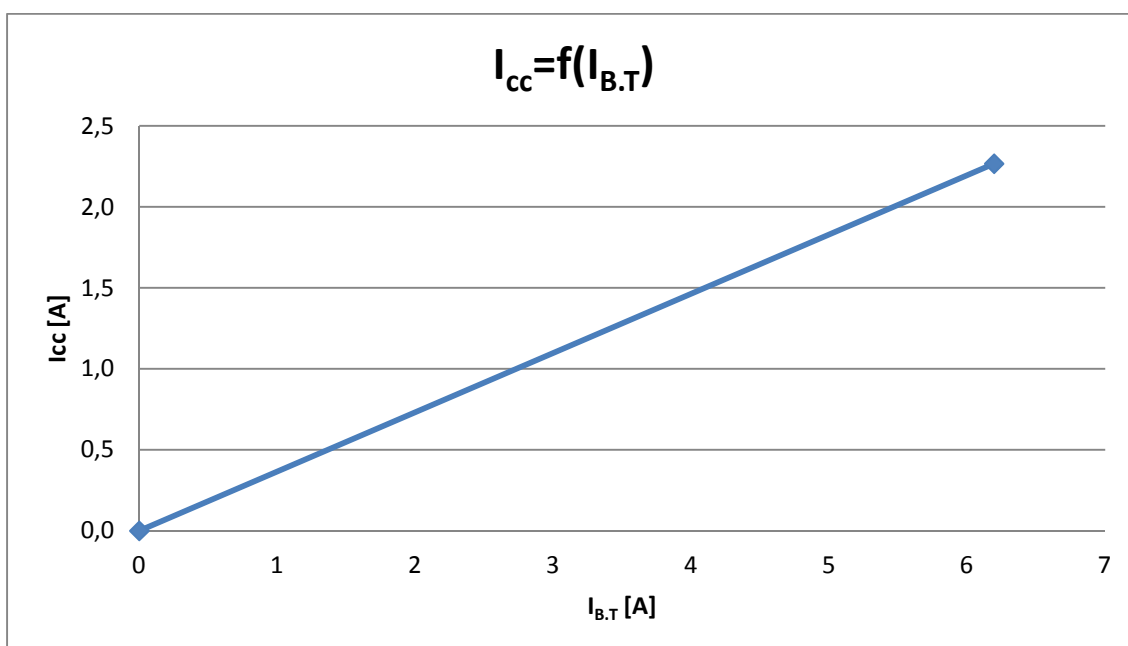
Gràfic 4. Característica de curtcircuit del Trafo 002_2

- Transformador 003

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]
6,20	2,27	3,82

Taula 37. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 003_1

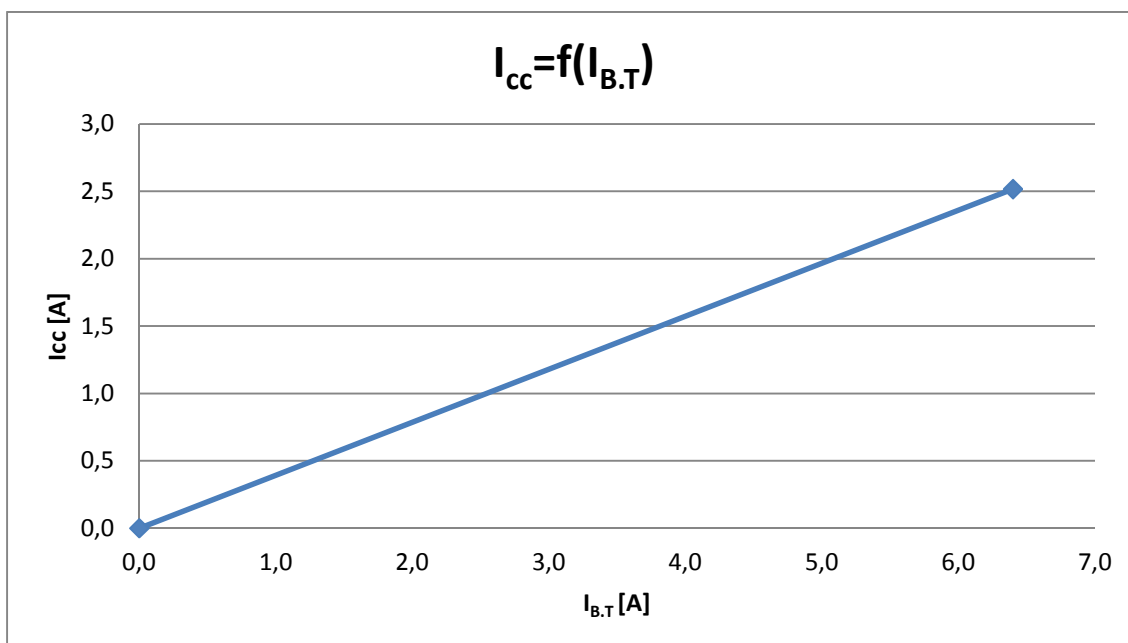


Gràfic 5. Característica de curtcircuit del Trafo 003_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]
6,40	2,52	3,90

Taula 38. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 003_2



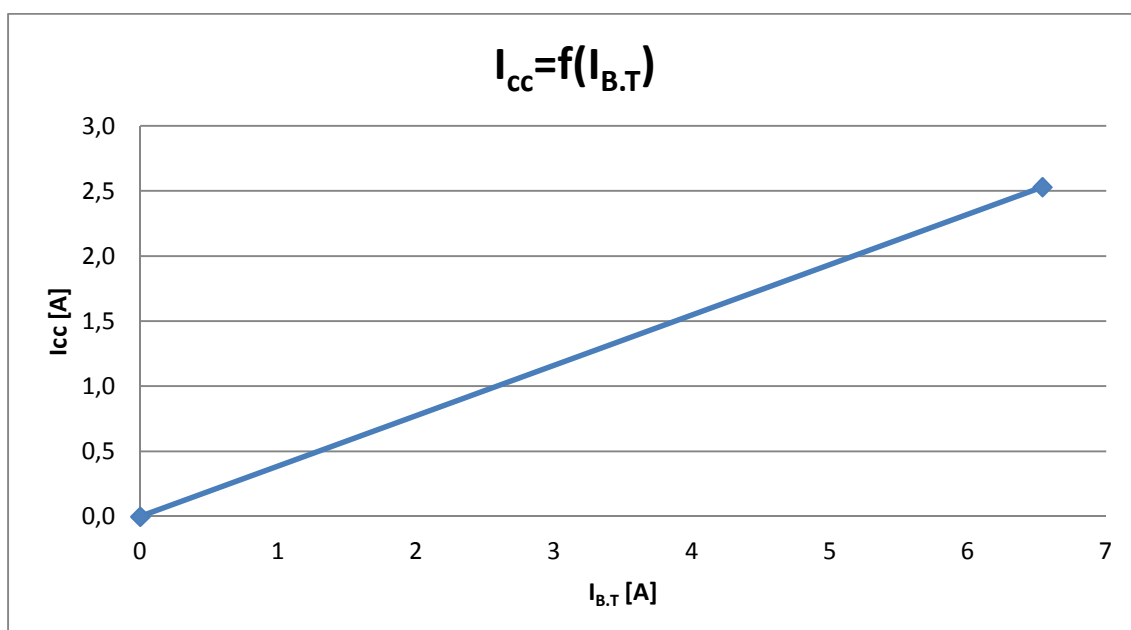
Gràfic 6. Característica de curtcircuit del Trafo 003_2

- Transformador 004

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]
0	0	
6,54	2,53	3,76

Taula 39. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 004_1

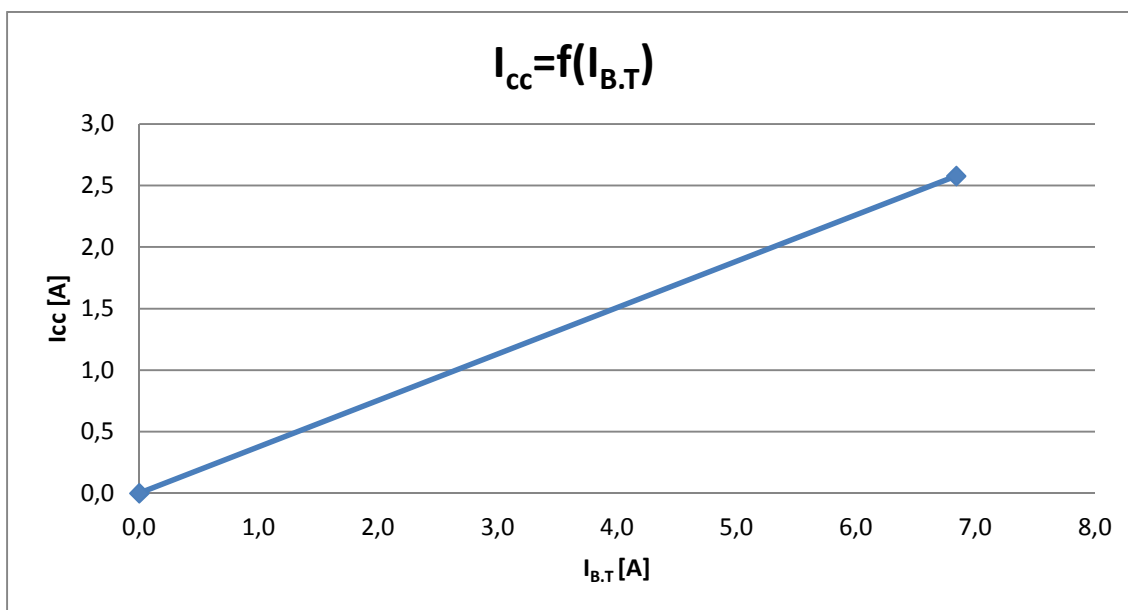


Gràfic 7. Característica de curtcircuit del Trafo 004_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]
6,84	2,58	4,20

Taula 40. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 004_2



Gràfic 8. Característica de curtcircuit del Trafo 004_2

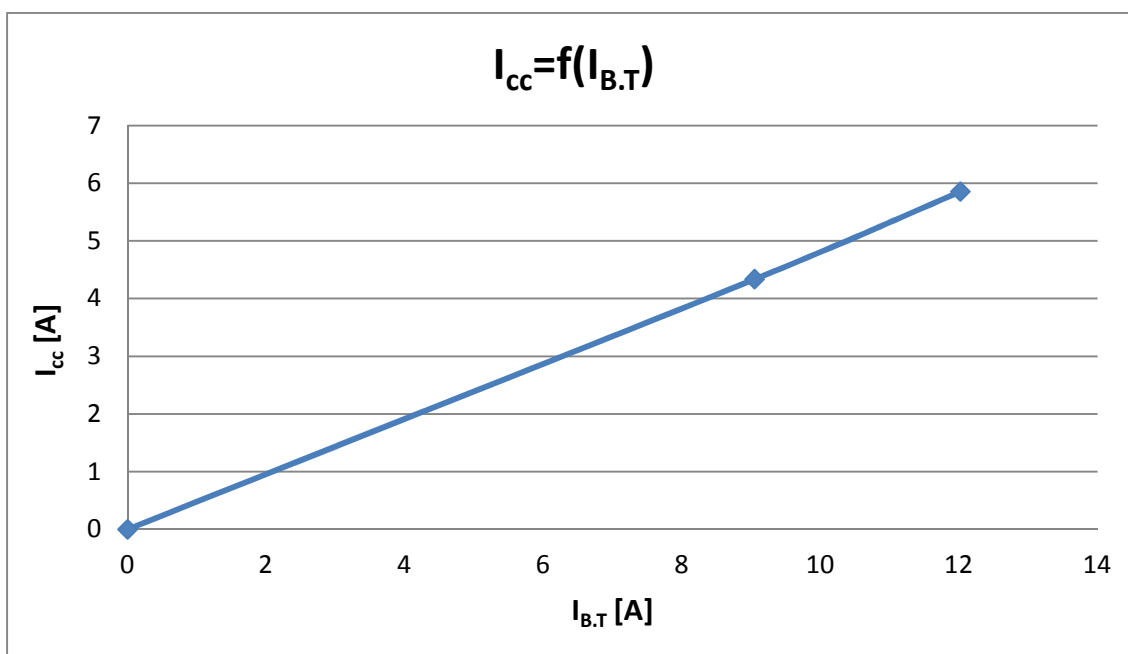
- Transformador 005

2.12-2.11

1.12-1.11

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
9,05	4,34	2,48	24
12,02	5,86	3,33	44

Taula 41. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 005_1



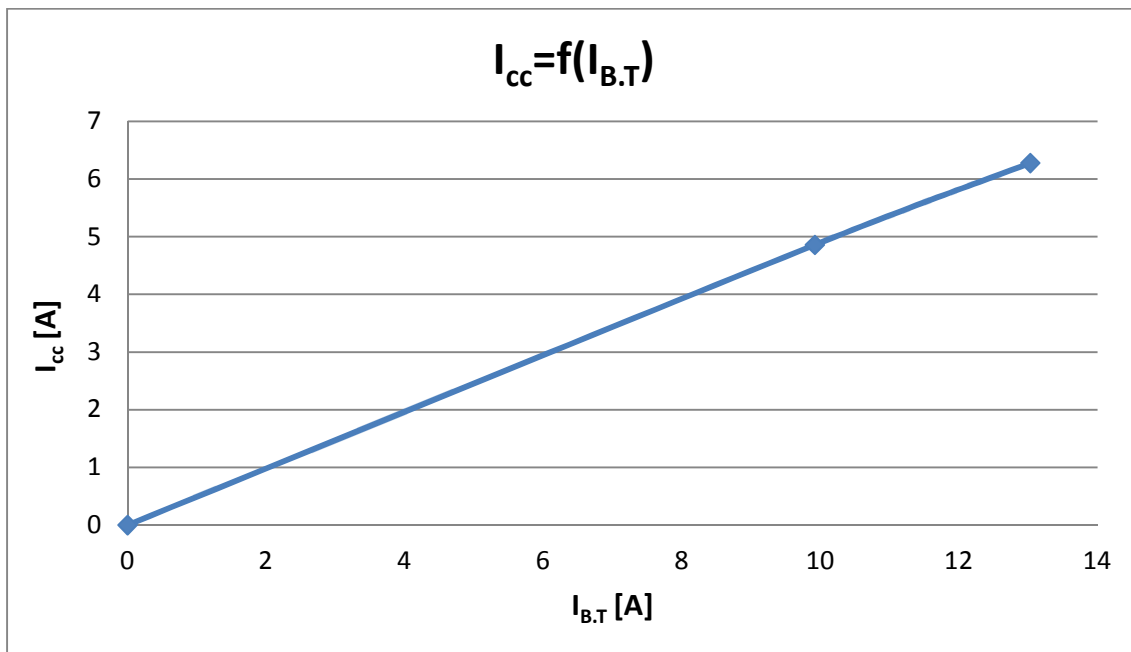
Gràfic 9. Característica de curtcircuit del Trafo 005_1

2.22-2.21

1.22-1.21

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
9,92	4,86	2,95	31
13,03	6,28	3,78	53

Taula 42. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 005_2



Gràfic 10. Característica de curtcircuit del Trafo 005_2

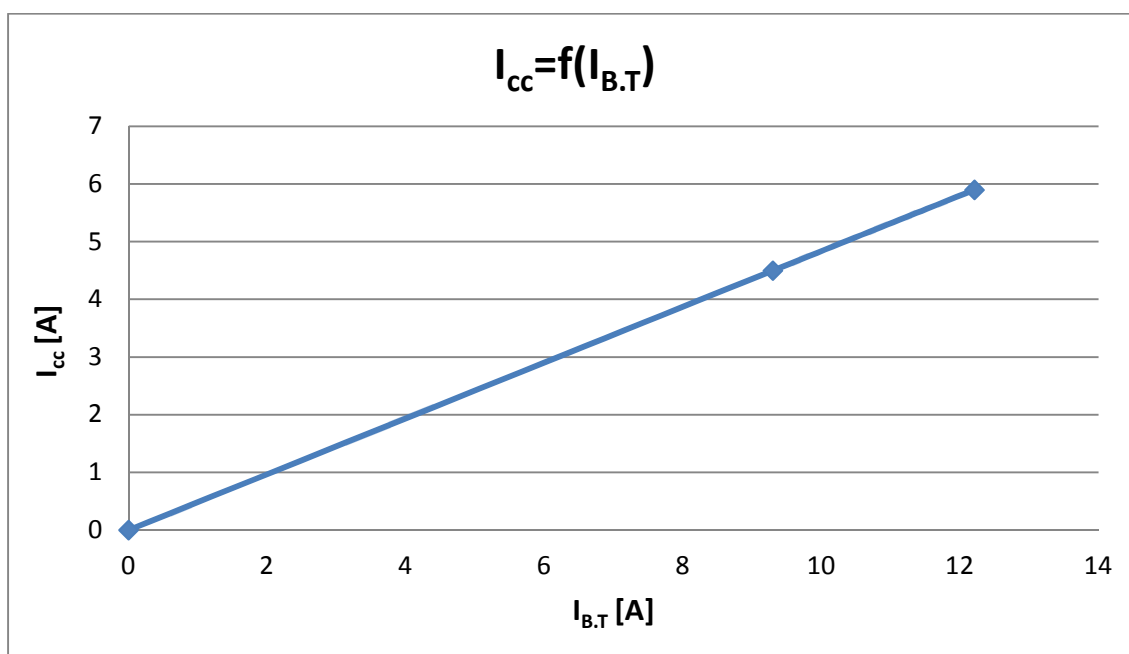
- Transformador 006

2.12-2.11

1.12-1.11

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
9,3	4,5	2,5	24
12,21	5,9	3,25	43

Taula 43. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 006_1



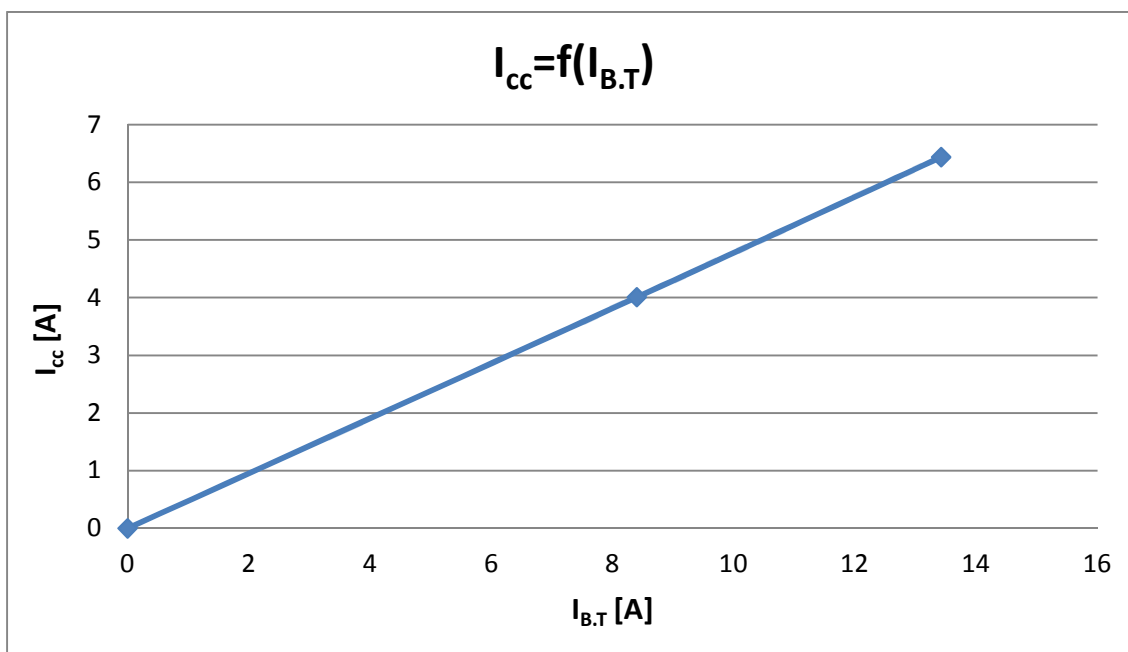
Gràfic 11. Característica de curtcircuit del Trafo 006_1

2.22-2.21

1.22-1.21

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
8,4	4,01	2,4	18
13,42	6,44	3,85	52

Taula 44. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 006_2



Gràfic 12. Característica de curtcircuit del Trafo 006_2

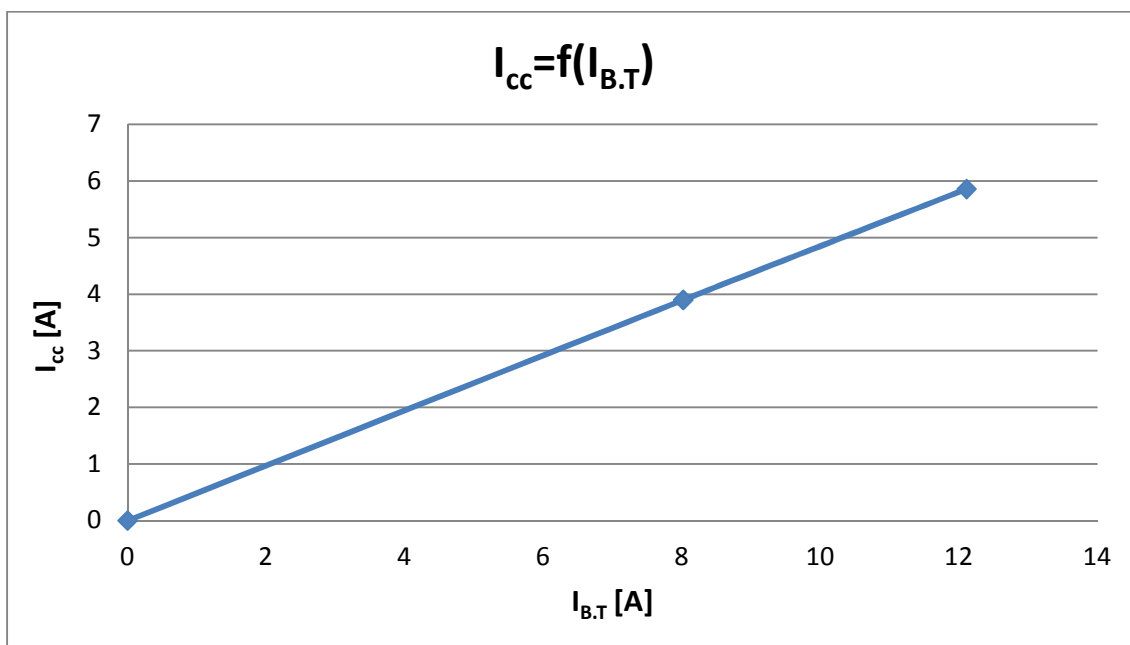
- Transformador 007

2.12-2.11

1.12-1.11

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
8,02	3,9	2,31	17
12,11	5,86	3,5	44

Taula 45. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 007_1



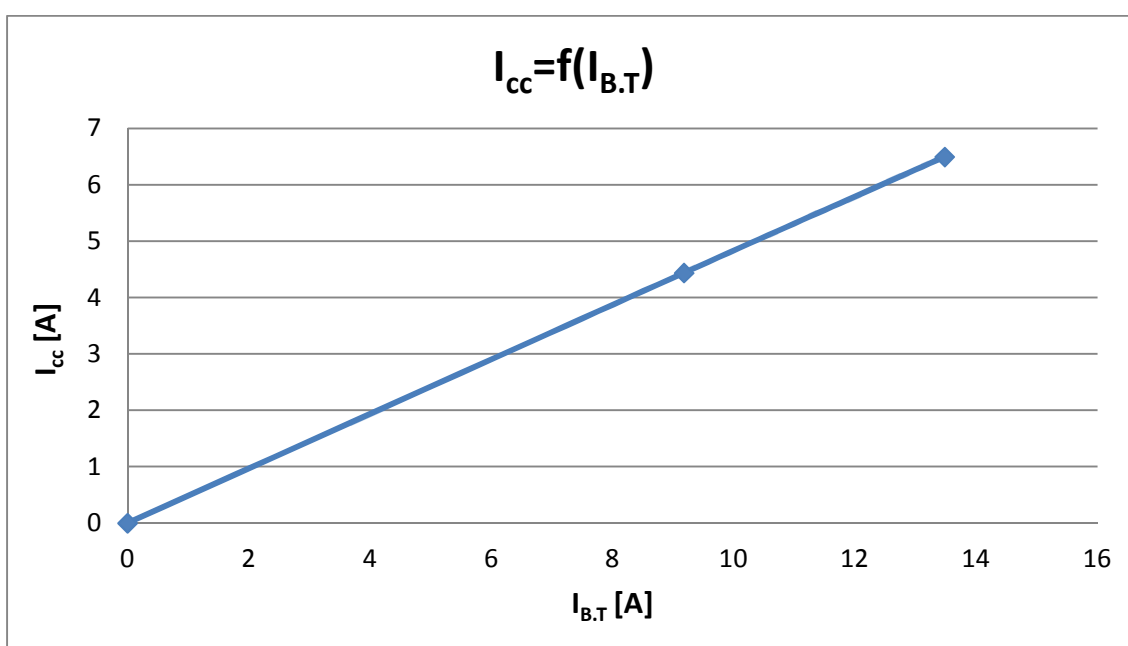
Gràfic 13. Característica de curtcircuit del Trafo 007_1

2.22-2.21

1.22-1.21

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
9,18	4,44	2,52	26
13,48	6,5	3,59	54

Taula 46. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 007_2



Gràfic 14. Característica de curtcircuit del Trafo 007_2

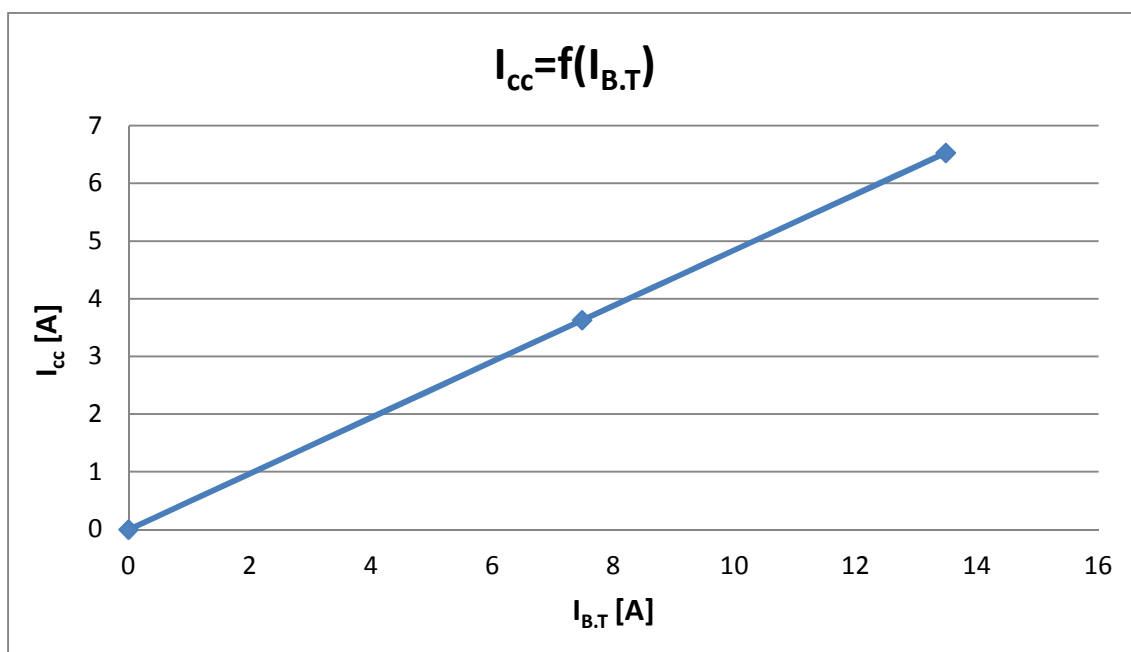
- Transformador 008

2.12-2.11

1.12-1.11

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
7,48	3,63	1,9	16
13,48	6,53	3,5	55

Taula 47. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 008_1



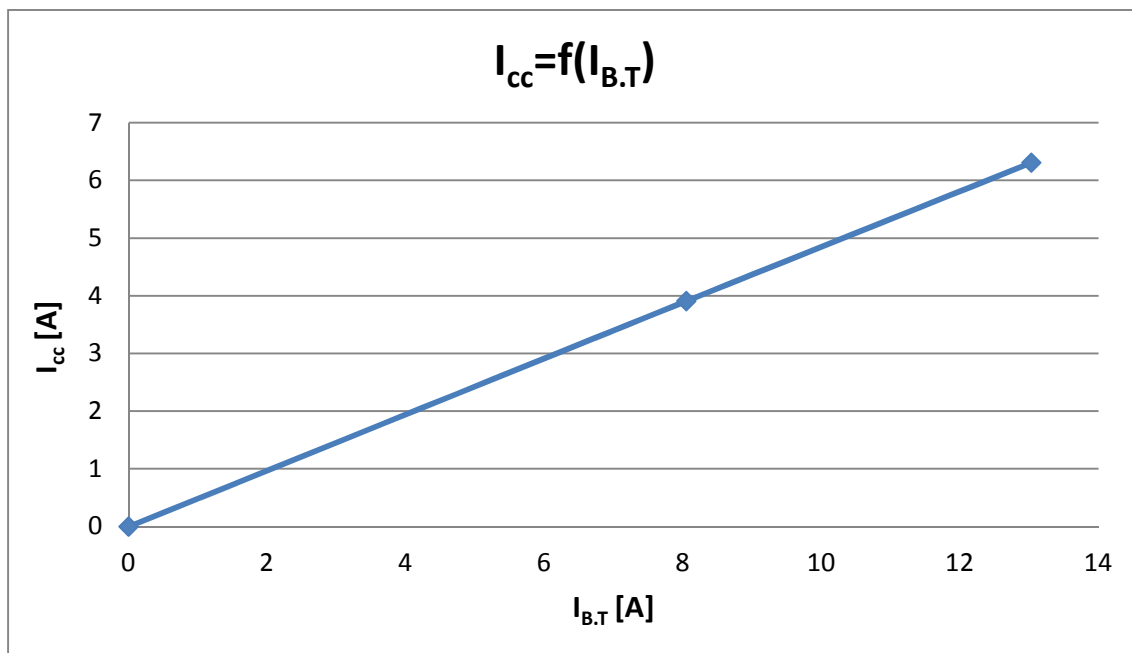
Gràfic 15. Característica de curtcircuit del Trafo 008_1

2.22-2.21

1.22-1.21

$I_{B.T}$ [A]	I_{CC} [A]	U_{CC} [V]	P_{CC} [W]
8,05	3,91	2,2	22
13,03	6,31	3,9	57

Taula 48. Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega del Trafo 008_2



Gràfic 16. Característica de curtcircuit del Trafo 008_2

Nom		P_{ocu} [W]
Trafo 001	1.2 U2 - 1.2 U1	0,06
	1.1 U2 - 1.1 U1	0,05
Trafo 002	1.2 U2 - 1.2 U1	0,06
	1.1 U2 - 1.1 U1	0,05
Trafo 003	1.2 U2 - 1.2 U1	0,07
	1.1 U2 - 1.1 U1	0,07
Trafo 004	1.2 U2 - 1.2 U1	0,06
	1.1 U2 - 1.1 U1	0,07
Trafo 005	1.2 U2 - 1.2 U1	0,04
	1.1 U2 - 1.1 U1	0,05
Trafo 006	1.2 U2 - 1.2 U1	0,04
	1.1 U2 - 1.1 U1	0,05
Trafo 007	1.2 U2 - 1.2 U1	0,05
	1.1 U2 - 1.1 U1	0,04
Trafo 008	1.2 U2 - 1.2 U1	0,04
	1.1 U2 - 1.1 U1	0,05

Taula 49. Pèrdues en el ferro en l'assaig de curtcircuit

Les pèrdues en el ferro en aquest assaig, degut al seu baix valor, es poden menysprear.

Per més informació observar l'annex 1.4 – *Assaig de mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega* i les fulles de càlcul per a cada transformador.

3.2.5 – Assaig d'escalfament

3.2.5.1 – Objectius específics

L'objectiu principal d'aquest tipus d'assaig consisteix en obtenir l'escalfament total de cada debanat quan hi circula el corrent assignat i amb l'excitació normal del nucli.

Els transformadors objecte d'aquest assaig són de tipus sec. Per tant s'ha de seguir la normativa que els regula.

L'escalfament s'estableix per la combinació de l'assaig de curtcircuit (pèrdues en càrrega) i l'assaig en circuit obert (pèrdues en buit).

La temperatura dels transformador ha de ser estabilitzada amb la de l'ambient de la sala d'assaig. Anteriorment s'ha d'haver mesurat les resistències dels debanats de alta i baixa tensió, aquests valors s'utilitzen com a valors de referència per al càlcul de les resistències un cop s'ha practicat aquest assaig. En aquest cas, anteriorment ja s'ha practicat un assaig de mesura de les resistències que ofereixen els debanats del transformador.

També s'ha de prendre nota de la temperatura ambient de la sala d'assaig.

La situació dels punts de mesura, és a dir, la dels termòmetres ha de ser la mateixa per totes les mesures.

Aquests s'han de col·locar al centre de la culata superior i el més pròxim possible als conductors interiors dels debanats de baixa tensió a la part superior del debanat. Té lògica ja que la intensitat és més elevada en el debanat de baixa tensió d'un transformador que en el d'alta.

L'assaig d'un debanat curtcircuitat s'ha de realitzar circulant el corrent assignat per un dels debanats i l'altre debanat curtcircuitat. S'ha de continuar fins que s'assoleixi la condició de règim permanent dels debanats i del circuit magnètic. En aquest assaig es mesura $\Delta\theta_c$.

L'assaig a circuit obert, a tensió i freqüència assignades, s'ha de continuar fins que s'obtingui la condició de règim permanent dels debanats i del circuit magnètic. En aquest assaig és mesura l'escalfament individual dels debanats.

La condició de règim permanent, s'assoleix quan l'escalfament es manté constant. Aquest es considera constant quan s'ha assolit que l'escalfament no varia més de 1 K per hora.

Amb la realització dels dos assajos descrits anteriorment, es calcula l'escalfament total, $\Delta\theta'_c$, de cada debanat, per la intensitat assignada a aquest debanat i l'excitació normal del nucli. Això es calcula amb la següent fórmula:

$$\Delta\theta'_c = \Delta\theta_c \left[1 + \left(\frac{\Delta\theta_e}{\Delta\theta_c} \right)^{1/K1} \right]^{K1} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Equació 8. Escalfament total d'un debanat

on

$\Delta\theta'_c$ és l'escalfament total del debanat.

$\Delta\theta_c$ és l'escalfament total del debanat en l'assaig de curtcircuit.

$\Delta\theta_e$ és l'escalfament del debanat en l'assaig a circuit obert.

$K1$ pren un valor de 0,8 ja que el transformador té una refrigeració natural d'aire.

3.2.5.2 – Llistat de material

En aquest assaig es diferencia la llista de material per a un transformador monofàsic i per un trifàsic.

Transformador monofàsic

Assaig a circuit obert

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable
- 2 Voltímetres en CA
 - o Un serveix per mesurar la tensió aplicada $U_{B,T}$ i l'altre per mesurar la tensió induïda U_0 .
- 1 Amperímetre en CA per mesurar I_0
- 1 Vatímetre per mesurar la potència activa absorbida, P_0
- 1 Termòmetre
- 1 Transformador monofàsic

Assaig amb un debanat curtcircuitat

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable
- 1 Voltímetre en CA per mesurar la U_{cc}
- 2 Amperímetres en C.A per mesurar la I_{cc} i la $I_{B,T}$ de cada fase
- 1 Vatímetre per mesurar la potència activa absorbida, P_{cc}
- 1 Termòmetre
- 1 Transformador trifàsic

Transformador trifàsic

Assaig a circuit obert

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable
- 6 Voltímetres en CA
 - o Tres serveixen per mesurar la tensió aplicada $U_{B,T}$ i els altres tres per mesurar la tensió induïda U_0 , ambdós de cada fase
- 3 Amperímetres en CA per mesurar I_0
- 2 Vatímetres per mesurar la potència total activa absorbida, P_0
- Termòmetre
- 1 Transformador trifàsic

Assaig amb un debanat curtcircuitat

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable
- 3 Voltímetres en CA per mesurar la U_{cc}
- 6 Amperímetres en C.A per mesurar la I_{cc} i la $I_{B,T}$ de cada fase.

- Tres serveixen per mesurar la I_{cc} i els altres tres la $I_{B,T}$
- 2 Vatímetres per mesurar la potència activa absorbida, P_{cc}
- Termòmetre
- 1 Transformador trifàsic

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori.*

3.2.5.3 – Procediment d'assaig

Amb el muntatge realitzat de l'esquema 6, 14 o 15 es procedeix a començar l'assaig.

En aquest cas, la normativa proposa dos vies d'assaig diferents. Aquestes consisteixen en invertir l'ordre dels assajos d'una respecte de l'altra.

El procediment d'assaig ha de ser un dels següents:

- l'assaig amb un debanat curtcircuitat s'ha de dur a terme fins a l'estabilització de la temperatura del circuit magnètic i del debanat. A continuació, s'ha de realitzar un assaig a circuit obert fins assolir l'estabilització de la temperatura del circuit magnètic i dels debanats.

o

- l'assaig a circuit obert s'ha de dur a terme fins a l'estabilització de la temperatura del circuit magnètic i del debanat. Posteriorment, s'ha de realitzar un assaig de curtcircuit fins assolir l'estabilització de la temperatura del circuit magnètic i dels debanats.

Com s'observa, la normativa deixa a escollir l'ordre en el qual es volen realitzar els assajos explicats anteriorment.

L'ordre escollit consisteix en realitzar primer l'assaig a circuit obert i posteriorment l'assaig amb un debanat curtcircuitat.

L'objectiu d'aquest assaig es mesurar la temperatura i no obtenir les pèrdues. En quan a la realització del muntatge no cal realitzar-lo sencer un altre cop, només cal instal·lar els aparells de mesura que mostrin la variable que es desitja controlar.

L'assaig en circuit obert pretén escalfar el “ferro de la màquina”, és a dir el nucli. Per tant la mesura de la temperatura s'ha de realitzar en ell. En canvi l'assaig amb un debanat curtcircuitat pretén escalfar el “coure de la màquina”, és a dir, les bobines que formen els debanats. S'ha de realitzar la mesura per on circula la intensitat.

Assaig d'escalfament a circuit obert

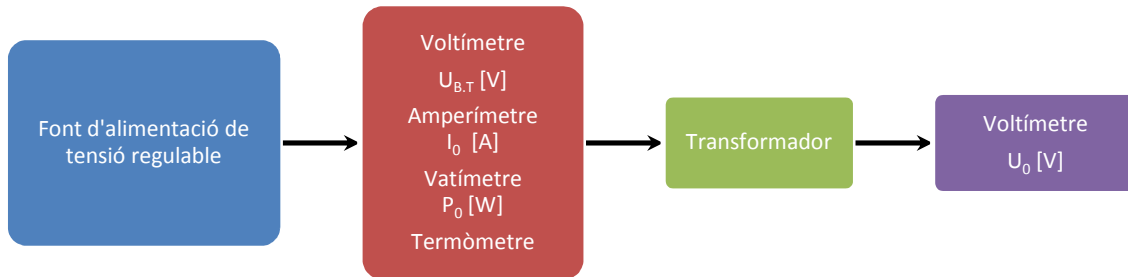


Figura 5. Diagrama d'escalfament a circuit obert

Assaig d'escalfament amb un debanat curtcircuitat

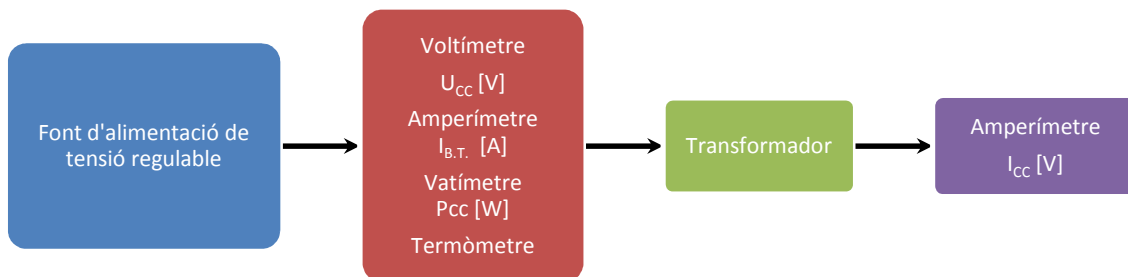


Figura 6. Diagrama d'escalfament amb un debanat curtcircuitat

3.2.5.4 – Resultats obtinguts

- Transformador 001

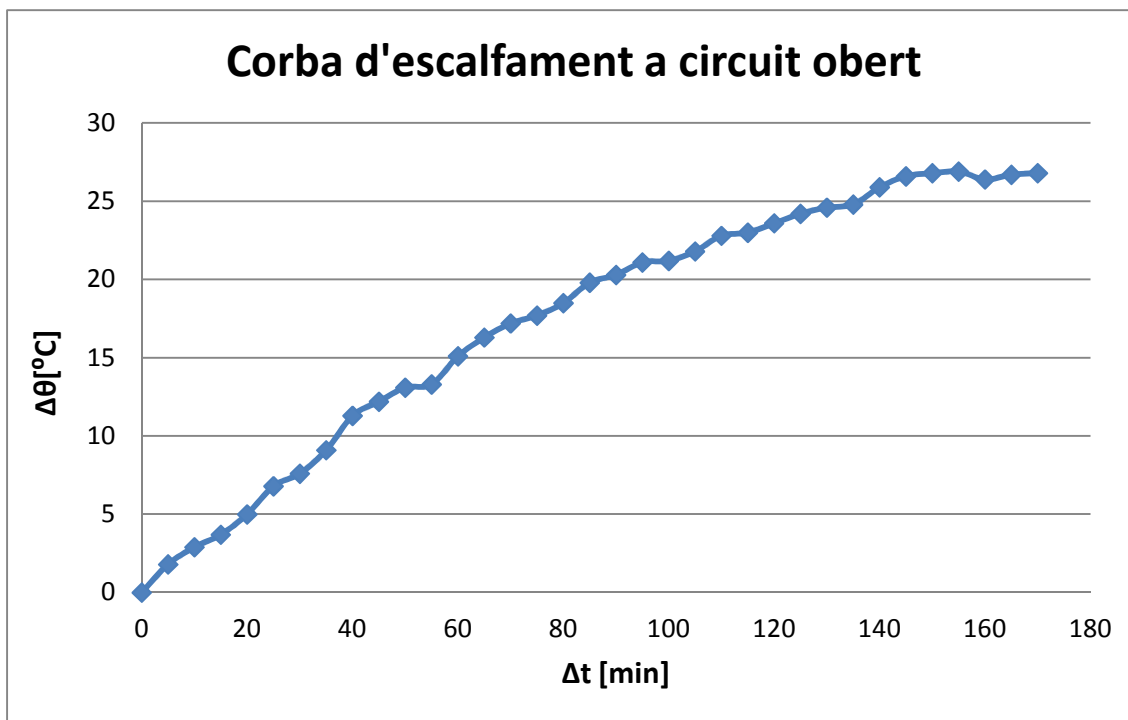
Assaig a circuit obert

Temps t	Δt	Temperatura θ	$\Delta \theta$
[hores]	[minuts]	(°C)	(°C)
t_0	Δt	θ_u	$\Delta \theta_0$
16:10	0	22	0
16:15	5	23,8	1,8
16:20	10	24,9	2,9
16:25	15	25,7	3,7
16:30	20	27	5
16:35	25	28,8	6,8
16:40	30	29,6	7,6
16:45	35	31,1	9,1
16:50	40	33,3	11,3
16:55	45	34,2	12,2
17:00	50	35,1	13,1
17:05	55	35,3	13,3
17:10	60	37,1	15,1
17:15	65	38,3	16,3
17:20	70	39,2	17,2
17:25	75	39,7	17,7
17:30	80	40,5	18,5
17:35	85	41,8	19,8
17:40	90	42,3	20,3
17:45	95	43,1	21,1
17:50	100	43,2	21,2
17:55	105	43,8	21,8
18:00	110	44,8	22,8
18:05	115	45	23
18:10	120	45,6	23,6
18:15	125	46,2	24,2
18:20	130	46,6	24,6
18:25	135	46,8	24,8
18:30	140	47,9	25,9
18:35	145	48,6	26,6
18:40	150	48,8	26,8
18:45	155	48,9	26,9
18:50	160	48,4	26,4
18:55	165	48,7	26,7
19:00	170	48,8	26,8

Taula 50. Assaig d'escalfament a circuit obert Trafo 001

Corba escalfament	
Temperatura [°C]	Error [%]
23,73	0,28
25,36	-1,83
26,87	-4,56
28,29	-4,78
29,62	-2,84
30,86	-4,25
32,02	-2,96
33,11	0,58
34,12	0,23
35,07	0,08
35,96	-1,87
36,79	0,84
37,57	1,91
38,29	2,31
38,97	1,83
39,61	2,20
40,20	3,82
40,76	3,64
41,28	4,22
41,77	3,32
42,22	3,60
42,65	4,80
43,05	4,34
43,42	4,78
43,77	5,27
44,09	5,38
44,40	5,14
44,68	6,72
44,95	7,51
45,20	7,38
45,43	7,10
45,65	5,69
45,85	5,85
46,04	5,65

Temperatura calculada amb l'equació 9 i l'error entre aquesta i la mesurada en l'assaig.



Gràfic 17. Corba d'escalfament a circuit obert del Trafo 001

$$\theta_{(t)} = (48.8 - 22) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{74.45}}\right) + 20.7$$

Equació 9. Corba d'escalfament a circuit obert del Trafo 001

Temps t	Δt	Temperatura θ	$\Delta \theta$
[hores]	[minuts]	(°C)	(°C)
t_0	Δt	θ_u	$\Delta \theta_0$
16:30	0	22	0
16:35	5	24,7	2,7
16:40	10	27,4	5,4
16:45	15	29,5	7,5
16:50	20	30,8	8,8
16:55	25	31,9	9,9
17:00	30	33	11
17:05	35	33,9	11,9
17:10	40	34,8	12,8
17:15	45	35,7	13,7
17:20	50	36,4	14,4
17:25	55	36,9	14,9
17:30	60	37,6	15,6
17:35	65	38,2	16,2
17:40	70	38,8	16,8
17:45	75	39,3	17,3
17:50	80	39,9	17,9
17:55	85	40,4	18,4
18:00	90	40,8	18,8
18:05	95	41,4	19,4
18:10	100	41,9	19,9
18:15	105	42	20
18:20	110	42,5	20,5
18:25	115	42,6	20,6
18:30	120	43	21
18:35	125	43,1	21,1
18:40	130	43,3	21,3
18:45	135	43,4	21,4
18:50	140	43,4	21,4
18:55	145	43,5	21,5
19:00	150	43,6	21,6

Taula 51. Assaig d'escalfament a curtcircuit Trafo 001

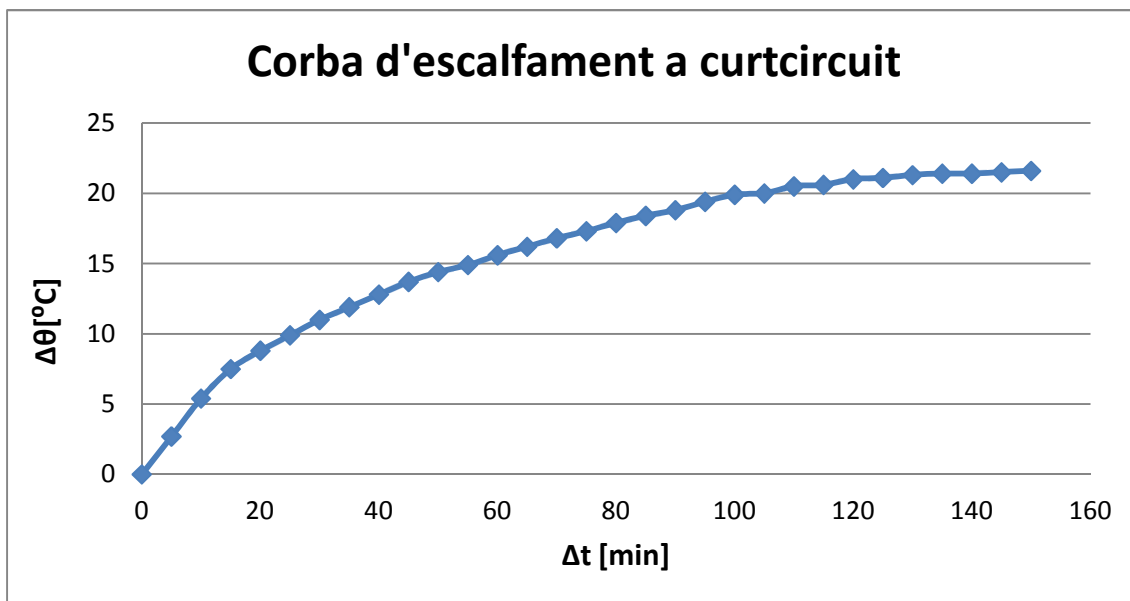
Assaig amb un debanat curtcircuitat

Temps t	Δt	Temperatura θ	$\Delta \theta$
[hores]	[minuts]	(°C)	(°C)
t_0	Δt	θ_u	$\Delta \theta_0$
16:30	0	22	0
16:35	5	24,7	2,7
16:40	10	27,4	5,4
16:45	15	29,5	7,5
16:50	20	30,8	8,8
16:55	25	31,9	9,9
17:00	30	33	11
17:05	35	33,9	11,9
17:10	40	34,8	12,8
17:15	45	35,7	13,7
17:20	50	36,4	14,4
17:25	55	36,9	14,9
17:30	60	37,6	15,6
17:35	65	38,2	16,2
17:40	70	38,8	16,8
17:45	75	39,3	17,3
17:50	80	39,9	17,9
17:55	85	40,4	18,4
18:00	90	40,8	18,8
18:05	95	41,4	19,4
18:10	100	41,9	19,9
18:15	105	42	20
18:20	110	42,5	20,5
18:25	115	42,6	20,6
18:30	120	43	21
18:35	125	43,1	21,1
18:40	130	43,3	21,3
18:45	135	43,4	21,4
18:50	140	43,4	21,4
18:55	145	43,5	21,5
19:00	150	43,6	21,6

Taula 52. Assaig d'escalfament a curtcircuit Trafo 001

Corba escalfament	
Temperatura [°C]	Error [%]
24,54	0,66
26,78	2,27
28,75	2,53
30,50	0,98
32,04	-0,43
33,40	-1,20
34,60	-2,05
35,65	-2,45
36,59	-2,49
37,41	-2,78
38,14	-3,36
38,78	-3,14
39,35	-3,00
39,85	-2,70
40,29	-2,51
40,68	-1,95
41,02	-1,54
41,32	-1,28
41,59	-0,46
41,83	0,17
42,04	-0,08
42,22	0,66
42,38	0,51
42,52	1,11
42,65	1,04
42,76	1,24
42,86	1,24
42,95	1,04
43,02	1,09
43,09	1,17

Temperatura calculada amb l'equació 10 i l'error entre aquesta i la mesurada en l'assaig.



Gràfic 18. Corba d'escalfament a curtcircuit del Trafo 001

$$\theta_{(t)} = (43.6 - 22) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{40}}\right) + 22$$

Equació 10. Corba d'escalfament a curtcircuit del Trafo 001

Δθc [°C]	21,60
Δθe [°C]	26,80
K1	0,80
Δθc' [°C]	42,20

Taula 53. Escalfament total dels debanats del Trafo 001

- Transformador 005

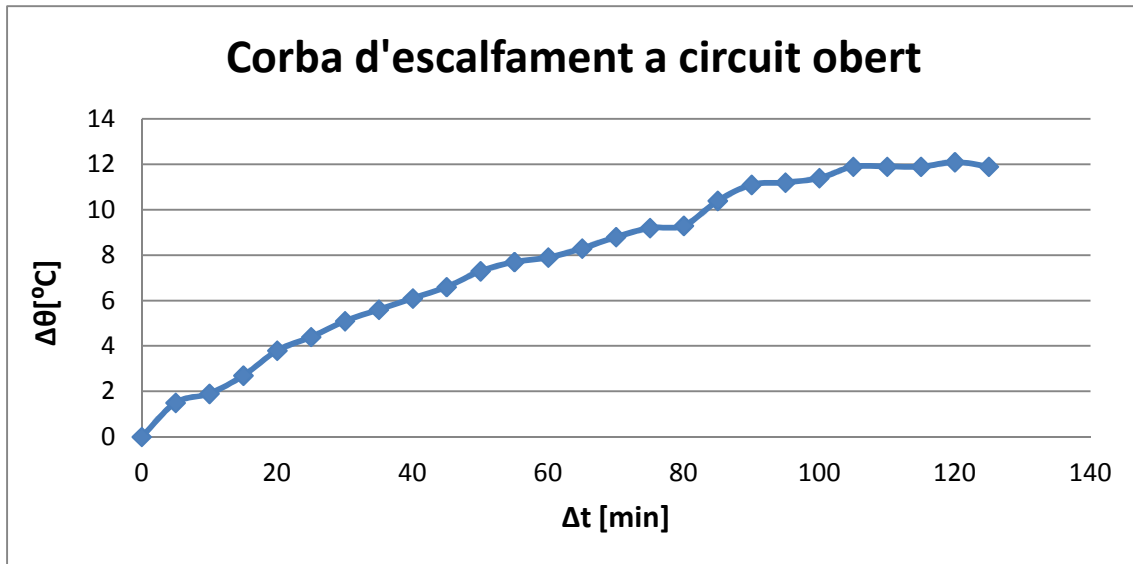
Assaig a circuit obert

Temps t	Δt	Temperatura θ	$\Delta \theta$
[hores]	[minuts]	(°C)	(°C)
t_0	Δt	θ_u	$\Delta \theta_0$
12:33	0	20,7	0
12:38	5	22,2	1,5
12:43	10	22,6	1,9
12:48	15	23,4	2,7
12:53	20	24,5	3,8
12:58	25	25,1	4,4
13:03	30	25,8	5,1
13:08	35	26,3	5,6
13:13	40	26,8	6,1
13:18	45	27,3	6,6
13:23	50	28	7,3
13:28	55	28,4	7,7
13:33	60	28,6	7,9
13:38	65	29	8,3
13:43	70	29,5	8,8
13:48	75	29,9	9,2
13:53	80	30	9,3
13:58	85	31,1	10,4
14:03	90	31,8	11,1
14:08	95	31,9	11,2
14:13	100	32,1	11,4
14:18	105	32,6	11,9
14:23	110	32,6	11,9
14:28	115	32,6	11,9
14:33	120	32,8	12,1
14:38	125	32,6	11,9

Taula 54. Assaig d'escalfament a circuit obert Trafo 005

Corba escalfament	
Temperatura [°C]	Error [%]
22,11	0,40
23,36	-3,35
24,46	-4,52
25,43	-3,80
26,29	-4,74
27,05	-4,84
27,72	-5,39
28,31	-5,64
28,83	-5,62
29,30	-4,63
29,70	-4,59
30,07	-5,13
30,38	-4,77
30,67	-3,95
30,91	-3,39
31,13	-3,78
31,33	-0,74
31,50	0,94
31,65	0,78
31,79	0,98
31,90	2,14
32,01	1,81
32,10	1,53
32,18	1,88
32,25	1,06

Temperatura calculada amb l'equació 11 i l'error entre aquesta i la mesurada en l'assaig.



Gràfic 19. Corba d'escalfament a circuit obert del Trafo 005

$$\theta_{(t)} = (32.8 - 20.7) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{40.34}}\right) + 20.7$$

Equació 11. Corba d'escalfament a circuit obert del Trafo 005

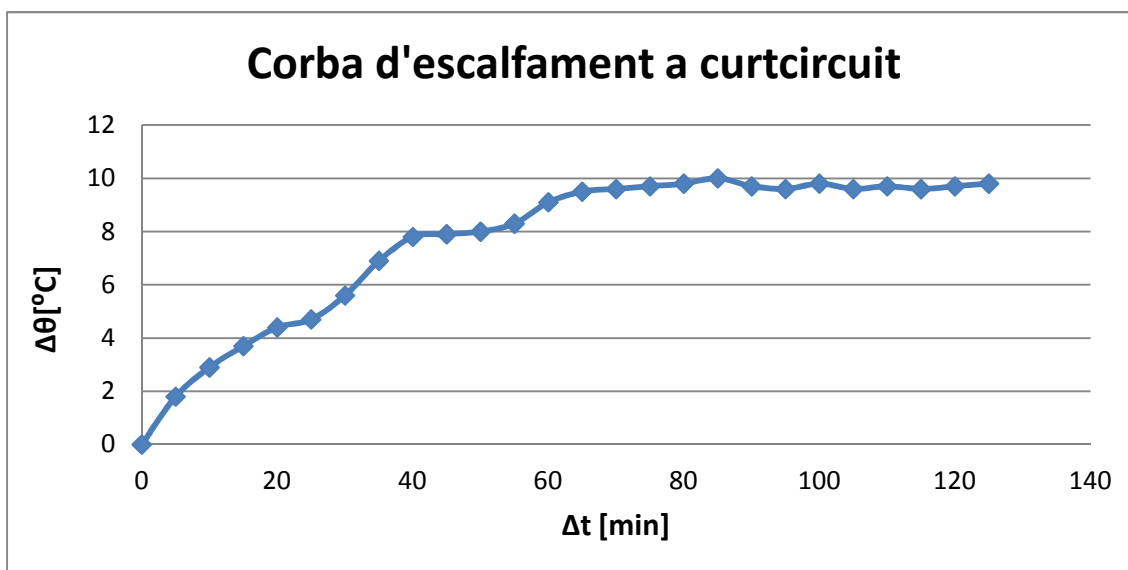
Assaig amb un debanat curtcircuitat

Temps t	Δt	Temperatura θ	$\Delta \theta$
[hores]	[minuts]	(°C)	(°C)
t_0	Δt	θ_u	$\Delta \theta_0$
16:10	0	20,7	0
16:15	5	22,5	1,8
16:20	10	23,6	2,9
16:25	15	24,4	3,7
16:30	20	25,1	4,4
16:35	25	25,4	4,7
16:40	30	26,3	5,6
16:45	35	27,6	6,9
16:50	40	28,5	7,8
16:55	45	28,6	7,9
17:00	50	28,7	8
17:05	55	29	8,3
17:10	60	29,8	9,1
17:15	65	30,2	9,5
17:20	70	30,3	9,6
17:25	75	30,4	9,7
17:30	80	30,5	9,8
17:35	85	30,7	10
17:40	90	30,4	9,7
17:45	95	30,3	9,6
17:50	100	30,5	9,8
17:55	105	30,3	9,6
18:00	110	30,4	9,7
18:05	115	30,3	9,6
18:10	120	30,4	9,7
18:15	125	30,5	9,8

Taula 55. Assaig d'escalfament a curtcircuit Trafo 005

Corba escalfament	
Temperatura [°C]	Error [%]
22,34	0,69
23,71	-0,48
24,85	-1,85
25,80	-2,78
26,59	-4,67
27,24	-3,59
27,79	-0,69
28,24	0,90
28,62	-0,08
28,94	-0,83
29,20	-0,69
29,42	1,28
29,60	1,99
29,75	1,81
29,88	1,72
29,98	1,70
30,07	2,06
30,14	0,85
30,20	0,33
30,25	0,82
30,29	0,02
30,33	0,24
30,36	-0,19
30,38	0,06
30,40	0,33

Temperatura calculada amb l'equació 12 i l'error entre aquesta i la mesurada en l'assaig.



Gràfic 20. Corba d'escalfament a curtcircuit del Trafo 005

$$\theta_{(t)} = (30.5 - 20.7) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{27.23}}\right) + 20.7$$

Equació 12. Corba d'escalfament a curtcircuit del Trafo 005

$\Delta\theta_c$ [°C]	10
$\Delta\theta_e$ [°C]	12,1
K1	0,8
$\Delta\theta'_c$ [°C]	19,26

Taula 56. Escalfament total dels debanats del Trafo 005

Per més informació observar l'annex 1.5 – Assaig d'escalfament i les fulles de càlcul del Trafo 001 i 005.

3.2.6 - Obtenció dels paràmetres característics d'un transformador

3.2.6.1 – Circuit equivalent d'un transformador

Degut que el càlcul d'un transformador resulta ser complicat, es sol recórrer a la substitució del transformador per un circuit equivalent simplificat que incorpora tots els fenòmens físics que es produeixen en la màquina real.

L'avantatge de desenvolupar circuits equivalents de màquines elèctriques és que es pot aplicar tot el potencial de la teoria de xarxes elèctriques per conèixer amb antelació la resposta d'una màquina en unes determinades condicions de funcionament.

En el cas d'un transformador, el desenvolupament d'un circuit equivalent s'inicia reduint ambdós debanats al mateix nombre d'espises.

En aquest projecte es realitza dos circuits equivalents. L'esquema equivalent del costat d'alta tensió del transformador i l'esquema equivalent del costat de baixa tensió d'aquest. Cal esmentar que l'esquema equivalent es realitza per valors de fase tot i que al ser un transformador monofàsic no afecta aquest concepte.

En el circuit equivalent referit al costat d'alta tensió es redueix el secundari al primari. Això significa que es substitueix el transformador original per un altre que tingui el mateix primari amb N_1 espises i un nou secundari amb un número d'espises N_2' igual a N_1 .

En circuit equivalent referit a la part de baixa tensió es redueix el primari al secundari. Això significa que es substitueix el transformador original per un altre que tingui el mateix secundari amb N_2 espises i un nou primari amb un número d'espises N_1' igual a N_2 .

Per obtenir els valors dels paràmetres del circuit equivalent utilitzarem els valors obtinguts en l'assaig de mesura de les pèrdues i del corrent de buit i amb els de l'assaig de mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega.

Amb el primer assaig s'obté els paràmetres de la branca paral·lel i amb el segon assaig els de la branca sèrie.

Aquest s'obté pel punt nominal del transformador.

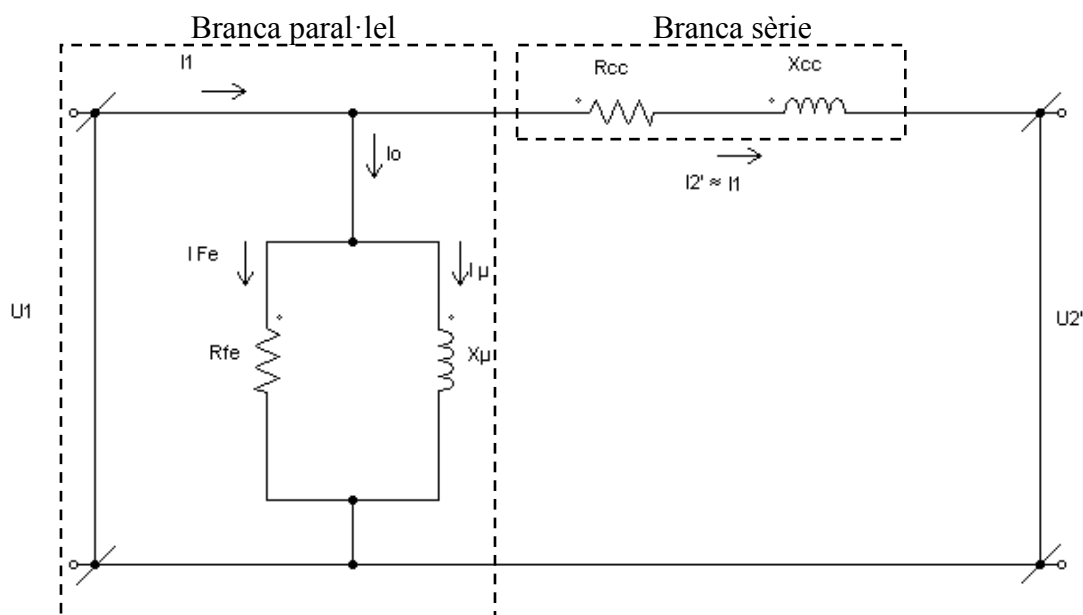


Figura 7. Circuit equivalent de un transformador reduït al primari

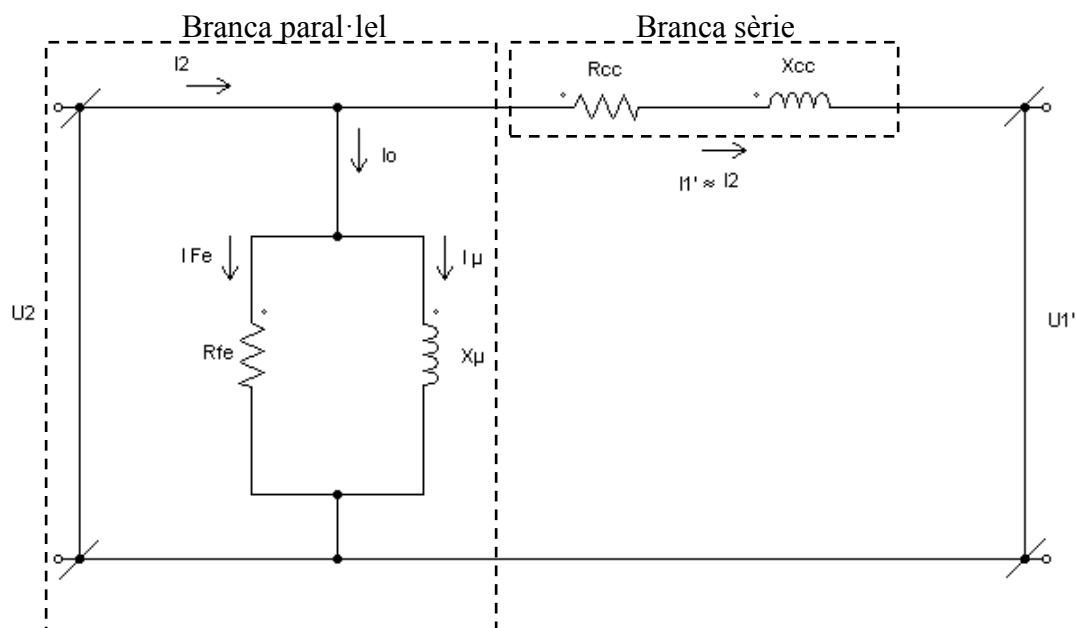


Figura 8. Circuit equivalent d'un transformador reduït al secundari

Perquè aquest nou transformador sigui equivalent a l'original, s'han de conservar les condicions energètiques de la màquina, és a dir, s'ha de conservar les potències actives i reactives de la màquina.

Cal esmentar que el paràmetre que relaciona els valors del costat de A.T i amb els de B.T és simplement la relació de transformació.

A continuació es mostra les fórmules emprades per poder-lo calcular des de les dues bandes.

Circuit equivalent referit al costat d' alta tensió o reduït al primari

- Intensitat nominal

És la intensitat nominal que circula pels transformador quan se li aplica la tensió nominal.

$$S = U_1 \cdot I_1; \quad I_1 = \frac{S}{U_1} \quad [A]$$

Equació 13. Intensitat nominal del costat de A.T.

- Impedància de curtcircuit

És la impedància de la màquina quan aquesta està en curtcircuit. Aquesta depèn de la tensió de curtcircuit i de la intensitat nominal.

$$U_{cc} = Z_{cc} \cdot I_1; \quad Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_1} \quad [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 14. Impedància de curtcircuit referida al costat de A.T.

- Resistència de curtcircuit

La impedància de curtcircuit es divideix en dues, una d'elles és la resistència de curtcircuit. Aquesta representa la resistència equivalent que serveix per calcular les pèrdues al coure de la màquina.

$$P_{cc} = R_{cc} \cdot I_1^2; \quad R_{cc} = \frac{P_{cc}}{I_1^2} \quad [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 15. Resistència de curtcircuit referida al costat de A.T.

- Reactància de curtcircuit

És l'altra part de la impedància de curtcircuit.

$$Z_{cc} = \sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2}; \quad X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} \quad [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 16. Reactància de curtcircuit referida al costat de A.T.

- Resistència del ferro

Per representar les pèrdues del ferro ocasionades per la intensitat del ferro s'emptra l'anomenada resistència del ferro.

$$P_{Fe} = \frac{U_1^2}{R_{Fe}}; \quad R_{Fe} = \frac{U_1^2}{P_{Fe}} \text{ [W]}$$

Equació 17. Resistència del ferro referida al costat de A.T.

- Intensitat del ferro

És la component activa de la intensitat de buit, és la que produeix les pèrdues en el ferro de la màquina.

$$P_{Fe} = R_{Fe} \cdot I_{Fe}^2; \quad I_{Fe} = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{R_{Fe}}} \text{ [A]}$$

Equació 18. Intensitat del ferro referida al costat de A.T.

- Intensitat magnetitzant

La intensitat magnetitzant és la component reactiva de la intensitat de buit. És la intensitat que utilitza la màquina per crear camps magnètics.

$$I_0^2 = I_{\mu}^2 + I_{Fe}^2; \quad I_{\mu} = \sqrt{I_0^2 - I_{Fe}^2} \text{ [A]}$$

Equació 19. Intensitat magnetitzant referida al costat de A.T.

- Reactància magnetitzant

Aquesta reactància representa l'efecte magnètic que produeixen les bobines les quals està format el transformador.

$$U_1 = I_{\mu} \cdot X_{\mu}; \quad X_{\mu} = \frac{U_1}{I_{\mu}} \text{ [\Omega/fase]}$$

Equació 20. Reactància magnetitzant referida al costat de A.T.

Circuit equivalent referit al costat de baixa tensió o reduït al secundari

- Intensitat nominal

$$S = U_2 \cdot I_2; \quad I_2 = \frac{S}{U_2} \text{ [A]}$$

Equació 21. Intensitat nominal del costat de B.T.

- Impedància de curtcircuit

$$U_{cc} = Z_{cc} \cdot I_2; \quad Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_2} \text{ [\Omega/fase]}$$

Equació 22. Impedància de curtcircuit referida al costat de B.T.

- Resistència de curtcircuit

$$P_{cc} = R_{cc} \cdot I_2^2; \quad R_{cc} = \frac{P_{cc}}{I_2^2} \text{ [\Omega/fase]}$$

Equació 23. Resistència de curtcircuit referida al costat de B.T.

- Reactància de curtcircuit

$$Z_{cc} = \sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2}; \quad X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} \text{ [\Omega/fase]}$$

Equació 24. Reactància de curtcircuit referida al costat de B.T.

- Resistència del ferro

$$P_{Fe} = \frac{U_2^2}{R_{Fe}}; \quad R_{Fe} = \frac{U_2^2}{P_{Fe}} [W]$$

Equació 25. Resistència del ferro referida al costat de B.T.

- Intensitat del ferro

$$P_{Fe} = R_{Fe} \cdot I_{Fe}^2; \quad I_{Fe} = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{R_{Fe}}} [A]$$

Equació 26. Intensitat del ferro referida al costat de B.T.

- Intensitat magnetitzant

$$I_0^2 = I_{\mu}^2 + I_{Fe}^2; \quad I_{\mu} = \sqrt{I_0^2 - I_{Fe}^2} [A]$$

Equació 27. Intensitat del ferro referida al costat de B.T.

- Reactància magnetitzant

$$U_2 = I_{\mu} \cdot X_{\mu}; \quad X_{\mu} = \frac{U_2}{I_{\mu}} [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 28. Reactància magnetitzant referida al costat de B.T.

El circuit equivalent d'un transformador trifàsic és el mateix que un monofàsic. Al tenir tres fases, hi ha tres esquemes equivalents, un per cada fase. En aquest projecte es realitza l'esquema d'una sola fase.

A diferència dels monofàsics, s'ha de tenir en compte que el circuit equivalent s'ha de realitzar per fase. Aquest es realitza també pel punt nominal.

Cal esmentar que les fórmules de càlcul per un trifàsic són les mateixes que en el monofàsic amb la única incorporació de $\sqrt{3}$ o 3 allí on correspongui.

3.2.6.2 – Resultats obtinguts

La representació gràfica dels circuits equivalents es realitza segons les figures 7 i 8.

- Transformador 001

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

B.T.		A.T	
I_0 [A]	0,84	I_0 [A]	0,42
P_{Fe} [W]	38,3	U_{cc} [V]	8,36
U_{cc} [V]	4,18		
P_{cu} [W]	92,8	U_{cc} [p.u]	0,04

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	2500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	7,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	3,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,55	2,21
R_{cc} [Ω /fase]	0,54	2,16
X_{cc} [Ω /fase]	0,12	0,47
R_{Fe} [Ω /fase]	947,78	3791,12
I_{Fe} [A]	0,12	0,06
I_{μ} [A]	0,83	0,84
X_{μ} [Ω /fase]	132,22	262,53

Taula 57. Circuit equivalent del Trafo 001_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

B.T.		A.T	
I_0 [A]	0,83	I_0 [A]	0,415
P_{Fe} [W]	38,83	U_{cc} [V]	7,84
U_{cc} [V]	3,92		
P_{cu} [W]	86,92	U_{cc} [p.u]	0,04

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	2500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	7,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	3,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,52	2,07
R_{cc} [Ω /fase]	0,50	2,02
X_{cc} [Ω /fase]	0,11	0,45
R_{Fe} [Ω /fase]	934,84	3739,38
I_{Fe} [A]	0,12	0,06
I_{μ} [A]	0,82	0,41
X_{μ} [Ω /fase]	133,88	535,53

Taula 58. Circuit equivalent del Trafo 001_2

- Transformador 002

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

B.T.		A.T	
I_0 [A]	0,78	I_0 [A]	0,39
P_{Fe} [W]	37,53	U_{cc} [V]	8,48
U_{cc} [V]	4,24		
P_{cu} [W]	95,95	U_{cc} [p.u]	0,04

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	2500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	7,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	3,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,56	2,24
R_{cc} [Ω /fase]	0,56	2,23
X_{cc} [Ω /fase]	0,05	0,21
R_{Fe} [Ω /fase]	967,23	3868,90
I_{Fe} [A]	0,11	0,06
I_{μ} [A]	0,77	0,39
X_{μ} [Ω /fase]	142,55	570,20

Taula 59. Circuit equivalent del Trafo 002_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

B.T.		A.T	
I_0 [A]	0,77	I_0 [A]	0,385
P_{Fe} [W]	36,17	U_{cc} [V]	8,2
U_{cc} [V]	4,1		
P_{cu} [W]	91,1	U_{cc} [p.u]	0,04

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	2500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	7,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	3,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,54	2,16
R_{cc} [Ω /fase]	0,53	2,12
X_{cc} [Ω /fase]	0,11	0,46
R_{Fe} [Ω /fase]	1003,59	4014,38
I_{Fe} [A]	0,11	0,05
I_{μ} [A]	0,76	0,38
X_{μ} [Ω /fase]	144,33	577,31

Taula 60. Circuit equivalent del Trafo 002_2

- Transformador 003

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

B.T.		A.T	
I_0 [A]	0,72	I_0 [A]	0,36
P_{Fe} [W]	38,37	U_{cc} [V]	9,36
U_{cc} [V]	4,68		
P_{cu} [W]	102,31	U_{cc} [p.u]	0,04

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	2500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	7,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	3,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,62	2,47
R_{cc} [Ω /fase]	0,59	2,38
X_{cc} [Ω /fase]	0,17	0,68
R_{Fe} [Ω /fase]	946,05	3784,21
I_{Fe} [A]	0,12	0,06
I_{μ} [A]	0,71	0,36
X_{μ} [Ω /fase]	154,81	619,24

Taula 61. Circuit equivalent del Trafo 003_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

B.T.		A.T	
I_0 [A]	0,73	I_0 [A]	0,365
P_{Fe} [W]	38,13	U_{cc} [V]	9,26
U_{cc} [V]	4,63		
P_{cu} [W]	105,2	U_{cc} [p.u]	0,04

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	2500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	7,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	3,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,61	2,44
R_{cc} [Ω /fase]	0,61	2,44
X_{cc} [Ω /fase]	0,01	0,06
R_{Fe} [Ω /fase]	952,01	3808,03
I_{Fe} [A]	0,12	0,06
I_{μ} [A]	0,72	0,36
X_{μ} [Ω /fase]	152,61	610,43

Taula 62. Circuit equivalent del Trafo 003_2

- Transformador 004

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

B.T.		A.T	
I_0 [A]	0,7	I_0 [A]	0,35
P_{Fe} [W]	37,17	U_{cc} [V]	8,74
U_{cc} [V]	4,37		
P_{cu} [W]	92,83	U_{cc} [p.u]	0,04

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	2500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	7,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	3,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,58	2,31
R_{cc} [Ω /fase]	0,54	2,16
X_{cc} [Ω /fase]	0,21	0,82
R_{Fe} [Ω /fase]	976,59	3906,38
I_{Fe} [A]	0,11	0,06
I_{μ} [A]	0,69	0,35
X_{μ} [Ω /fase]	159,22	636,87

Taula 63. Circuit equivalent del Trafo 004_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

B.T.		A.T	
I_0 [A]	0,71	I_0 [A]	0,355
P_{Fe} [W]	37,33	U_{cc} [V]	9,28
U_{cc} [V]	4,64		
P_{cu} [W]	105,04	U_{cc} [p.u]	0,04

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	2500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	7,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	3,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,61	2,45
R_{cc} [Ω /fase]	0,61	2,44
X_{cc} [Ω /fase]	0,05	0,22
R_{Fe} [Ω /fase]	972,41	3889,63
I_{Fe} [A]	0,11	0,06
I_{μ} [A]	0,70	0,35
X_{μ} [Ω /fase]	156,93	627,74

Taula 64. Circuit equivalent del Trafo 004_2

- Transformador 005

2.12-2.11

1.12-1.11

B.T		A.T	
I_0 [A]	1,45	I_0 [A]	0,725
P_{Fe} [W]	36	U_{cc} [V]	7,54
U_{cc} [V]	3,77		
P_{cu} [W]	48,25	U_{cc} [p.u]	0,03

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	1500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	13,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	6,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,28	1,11
R_{cc} [Ω /fase]	0,26	1,04
X_{cc} [Ω /fase]	0,10	0,38
R_{Fe} [Ω /fase]	336,11	1344,44
I_{Fe} [A]	0,33	0,16
I_{μ} [A]	1,41	0,71
X_{μ} [Ω /fase]	77,87	311,49

Taula 65. Circuit equivalent del Trafo 005_1

2.22-2.21

1.22-1.21

B.T		A.T	
I_0 [A]	1,5	I_0 [A]	0,75
P_{Fe} [W]	37	U_{cc} [V]	7,86
U_{cc} [V]	3,93		
P_{cu} [W]	53,55	U_{cc} [p.u]	0,04

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	1500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	13,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	6,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,29	1,15
R_{cc} [Ω /fase]	0,29	1,15
X_{cc} [Ω /fase]	0,01	0,05
R_{Fe} [Ω /fase]	327,03	1308,11
I_{Fe} [A]	0,34	0,17
I_{μ} [A]	1,46	0,73
X_{μ} [Ω /fase]	75,25	301,00

Taula 66. Circuit equivalent del Trafo 005_2

- Transformador 006

2.12-2.11

1.12-1.11

B.T		A.T	
I_0 [A]	1,86	I_0 [A]	0,93
P_{Fe} [W]	39	U_{cc} [V]	7,24
U_{cc} [V]	3,62		
P_{cu} [W]	48,45	U_{cc} [p.u]	0,03

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	1500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	13,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	6,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,27	1,06
R_{cc} [Ω /fase]	0,26	1,04
X_{cc} [Ω /fase]	0,05	0,20
R_{Fe} [Ω /fase]	310,26	1241,03
I_{Fe} [A]	0,35	0,18
I_{μ} [A]	1,83	0,91
X_{μ} [Ω /fase]	60,24	240,98

Taula 67. Circuit equivalent del Trafo 006_1

2.22-2.21

1.22-1.21

B.T		A.T	
I_0 [A]	1,79	I_0 [A]	0,895
P_{Fe} [W]	38	U_{cc} [V]	7,8
U_{cc} [V]	3,9		
P_{cu} [W]	52,84	U_{cc} [p.u]	0,04

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	1500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	13,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	6,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,29	1,1
R_{cc} [Ω /fase]	0,28	1,14
X_{cc} [Ω /fase]	0,03	0,13
R_{Fe} [Ω /fase]	318,42	1273,68
I_{Fe} [A]	0,35	0,17
I_{μ} [A]	1,76	0,88
X_{μ} [Ω /fase]	62,63	250,52

Taula 68. Circuit equivalent del Trafo 006_2

- Transformador 007

2.12-2.11

1.12-1.11

B.T		A.T	
I_0 [A]	1,62	I_0 [A]	0,81
P_{Fe} [W]	36	U_{cc} [V]	7,86
U_{cc} [V]	3,93		
P_{cu} [W]	50,11	U_{cc} [p.u]	0,04

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	1500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	13,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	6,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,29	1,15
R_{cc} [Ω /fase]	0,27	1,08
X_{cc} [Ω /fase]	0,10	0,41
R_{Fe} [Ω /fase]	336,11	1344,44
I_{Fe} [A]	0,33	0,16
I_{μ} [A]	1,59	0,79
X_{μ} [Ω /fase]	69,33	277,32

Taula 69. Circuit equivalent del Trafo 007_1

2.22-2.21

1.22-1.21

B.T		A.T	
I_0 [A]	1,63	I_0 [A]	0,815
P_{Fe} [W]	36	U_{cc} [V]	7,24
U_{cc} [V]	3,62		
P_{cu} [W]	49,26	U_{cc} [p.u]	0,03

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	1500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	13,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	6,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,27	1,1
R_{cc} [Ω /fase]	0,26	1,06
X_{cc} [Ω /fase]	0,02	0,07
R_{Fe} [Ω /fase]	336,11	1344,44
I_{Fe} [A]	0,33	0,16
I_{μ} [A]	1,60	0,80
X_{μ} [Ω /fase]	68,89	275,55

Taula 70. Circuit equivalent del Trafo 007_2

- Transformador 008

2.12-2.11

1.12-1.11

B.T		A.T	
I_0 [A]	1,61	I_0 [A]	0,805
P_{Fe} [W]	38	U_{cc} [V]	7,06
U_{cc} [V]	3,53		
P_{cu} [W]	47,25	U_{cc} [p.u]	0,03

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	1500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	13,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	6,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,26	1,04
R_{cc} [Ω /fase]	0,25	1,02
X_{cc} [Ω /fase]	0,05	0,20
R_{Fe} [Ω /fase]	318,42	1273,68
I_{Fe} [A]	0,35	0,17
I_{μ} [A]	1,57	0,79
X_{μ} [Ω /fase]	69,95	279,81

Taula 71. Circuit equivalent del Trafo 008_1

2.22-2.21

1.22-1.21

B.T		A.T	
I_0 [A]	1,6	I_0 [A]	0,8
P_{Fe} [W]	38	U_{cc} [V]	8,14
U_{cc} [V]	4,07		
P_{cu} [W]	53,84	U_{cc} [p.u]	0,04

Dades	
$S_{nominal}$ [VA]	1500
$U_{A.T}$ [V]	220
$U_{B.T}$ [V]	110
m	2

Taula de resultats obtinguts		
Paràmetre	Part B.T	Part A.T
$I_{B.T}$ [A]	13,6	-
$I_{A.T}$ [A]	-	6,8
Z_{cc} [Ω /fase]	0,30	1,19
R_{cc} [Ω /fase]	0,29	1,16
X_{cc} [Ω /fase]	0,07	0,29
R_{Fe} [Ω /fase]	318,42	1273,68
I_{Fe} [A]	0,35	0,17
I_{μ} [A]	1,56	0,78
X_{μ} [Ω /fase]	70,41	281,64

Taula 72. Circuit equivalent del Trafo 008_2

3.2.6.3 - Diagrama fasorial en buit d'un transformador

En aquest diagrama es mostra la distribució de les tensions i els corrents d'un transformador monofàsic quan treballa en buit. En l'eix de les abscisses hi ha el flux magnètic en webers i en l'eix de les ordenades la tensió en volts.

Per obtenir-lo s'ha recorregut al valor de la intensitat de buit obtingut en l'assaig de pèrdues i del corrent de buit i els valors obtinguts en el circuit equivalent.

A l'igual que el circuit equivalent, la representació del diagrama és també pel punt de tensió nominal.

En el dibuix d'aquests diagrames s'ha comptat amb l'ajuda del programari *GeoGebra*. És un software matemàtic de lliure distribució molt útil en la representació de diagrames i formes geomètriques.

I_0 és la intensitat de buit

I_μ és la intensitat magnetitzant, component reactiva de la intensitat de buit.

$$I_\mu = I_0 \cdot \sin \varphi_0 \text{ [A]}$$

Equació 29. Intensitat magnetitzant del diagrama fasorial en buit

Amb la intensitat magnetitzant, al tenir caràcter reactiu, podem calcular la potència reactiva necessària per excitar el sistema. En el diagrama s'observa que està en fase amb l'eix del flux magnètic.

$$Q_\mu = U_1 \cdot I_\mu = U_1 \cdot I_0 \cdot \sin \varphi_0 \text{ [VAr]}$$

Equació 30. Potència reactiva

I_{Fe} és la intensitat del ferro, és la component activa de la intensitat de buit, la component de pèrdues.

$$I_{Fe} = I_0 \cdot \cos \varphi_0 \text{ [A]}$$

Equació 31. Intensitat del ferro del diagrama fasorial en buit

En el diagrama s'observa que aquesta es situa en fase amb la tensió, per tant es diu que té caràcter actiu, és a dir, és l'encarregada de produir pèrdues, concretament les pèrdues al ferro.

$$P_0 = U_1 \cdot I_{Fe} = U_1 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 = P_{Fe} \text{ [W]}$$

Equació 32. Pèrdues en el ferro del diagrama fasorial en buit

El diagrama fasorial en buit d'un transformador trifàsic és el mateix que el d'un monofàsic a diferència que al tenir tres fases es té un diagrama fasorial per a cada fase. Com es sap, aquestes estan desfasades 120° entre elles, per tant, els diagrames vectorials també ho estan. Degut a la no realització de l'esquema equivalent per cada una de les fases, en aquest diagrama només es representa només una fase.

3.2.6.4 – Resultats obtinguts

- Transformador 1

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

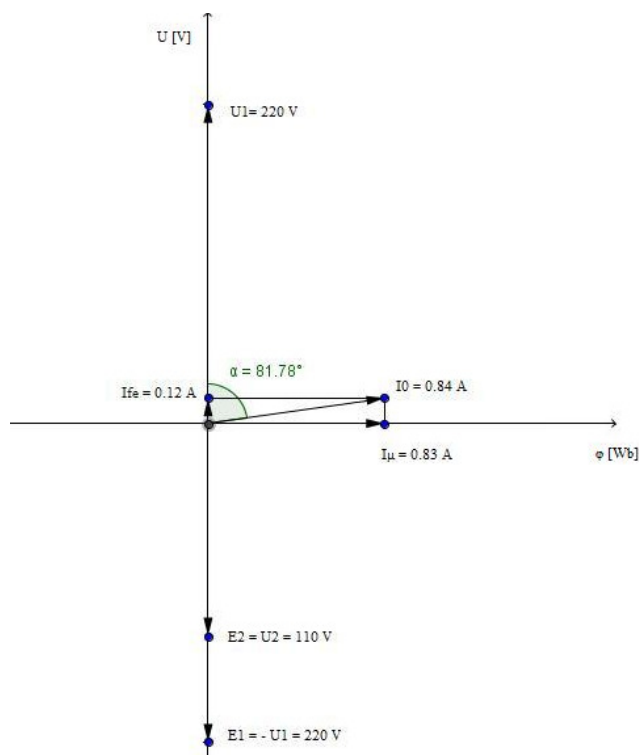


Figura 9. Diagrama fasorial Trafo 001

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

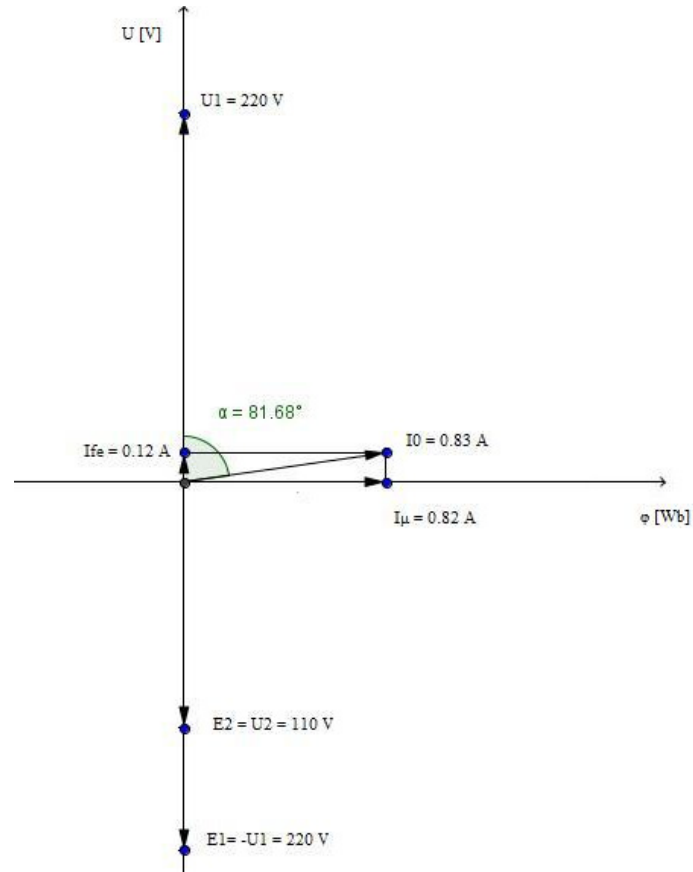


Figura 10. Diagrama fasorial Trafo 001

- Transformador 2

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

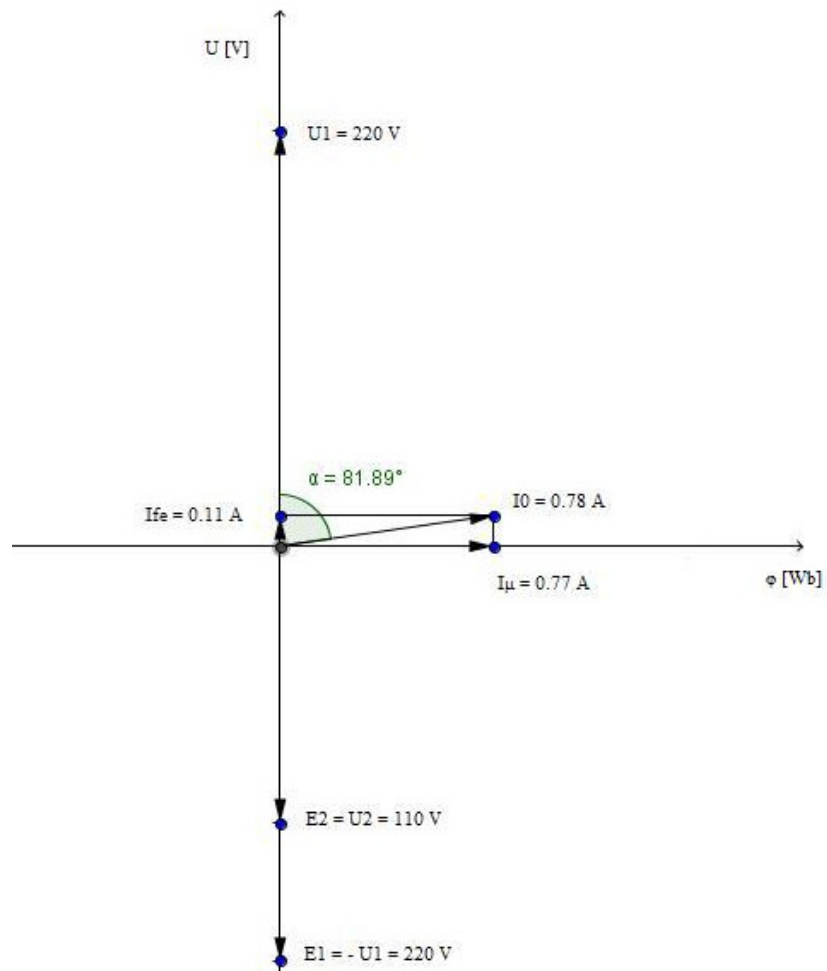


Figura 11. Diagrama fasorial Trafo 002

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

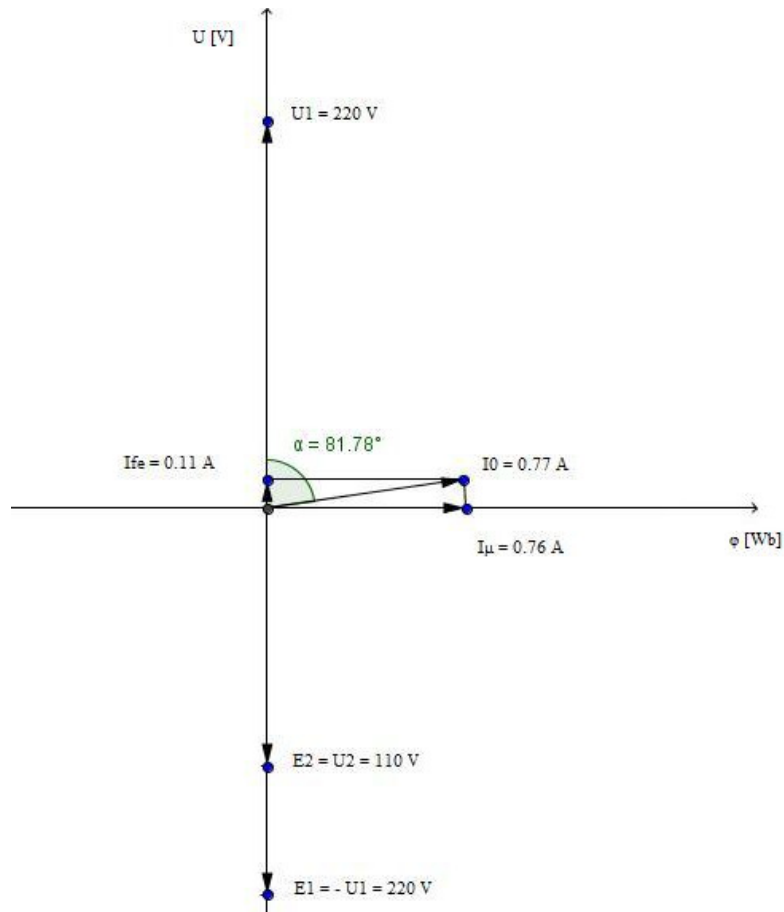


Figura 12. Diagrama fasorial Trafo 002

- Transformador 3

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

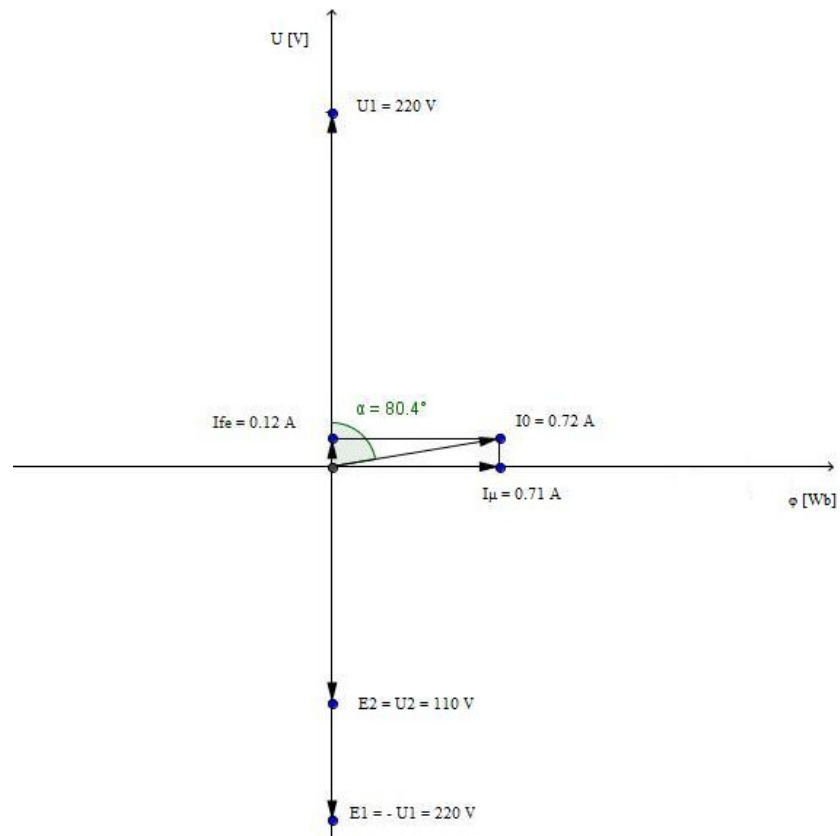


Figura 13. Diagrama fasorial Trafo 003

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

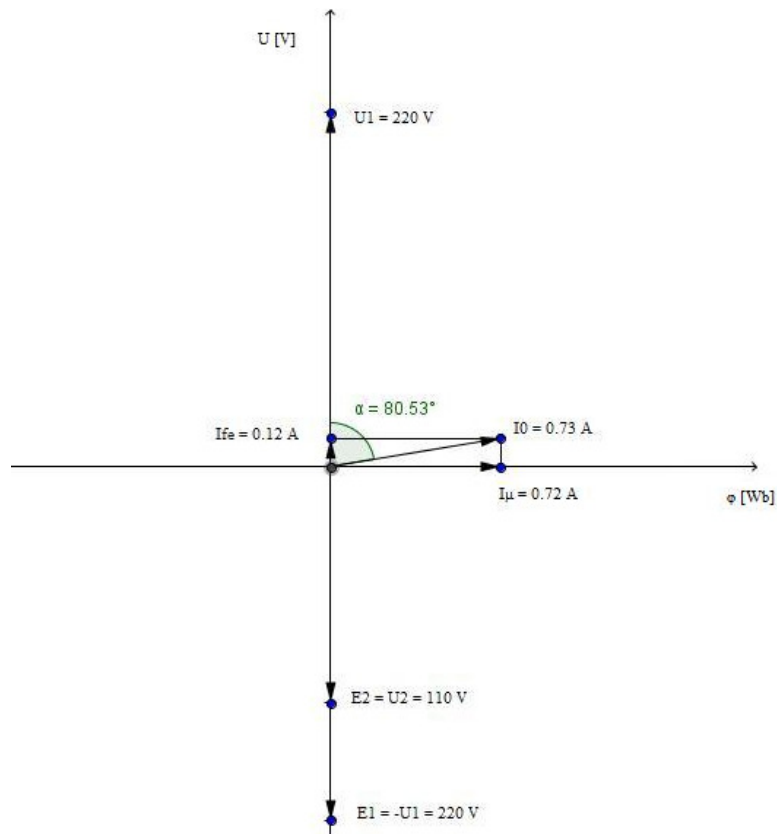


Figura 14. Diagrama fasorial Trafo 003

- Transformador 4

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

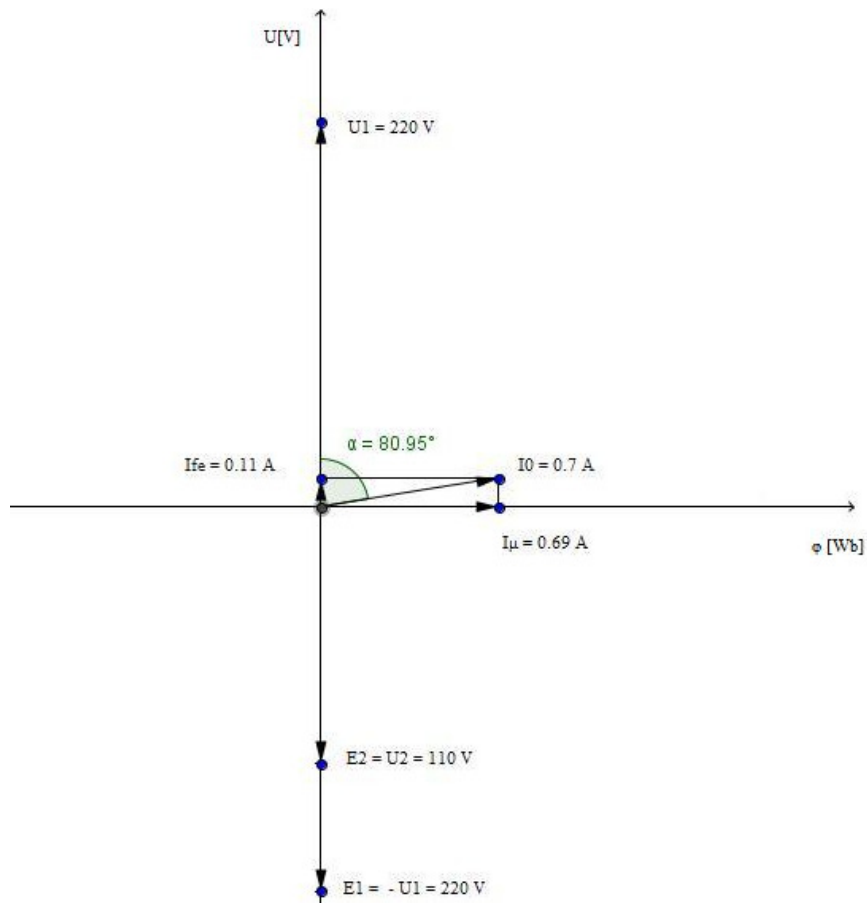


Figura 15. Diagrama fasorial Trafo 004

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

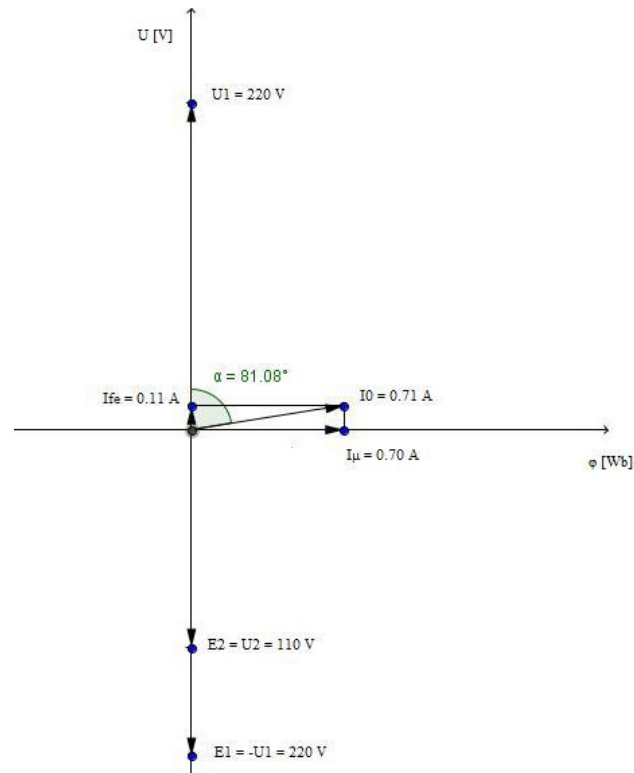


Figura 16. Diagrama fasorial Trafo 004

2.12-2.11

1.12-1.11

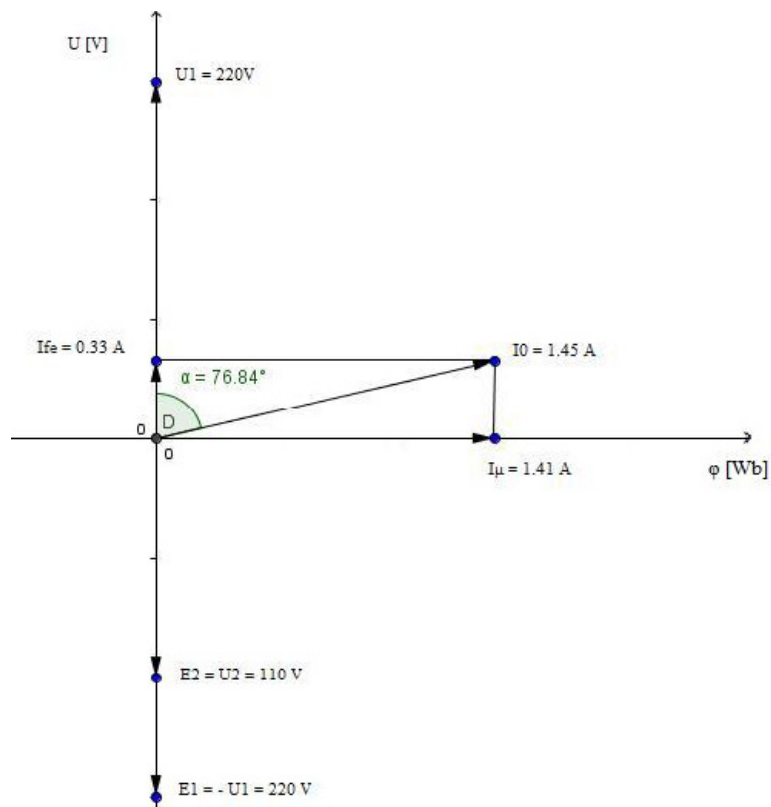


Figura 17. Diagrama fasorial Trafo 005

2.22-2.21

1.22-1.21

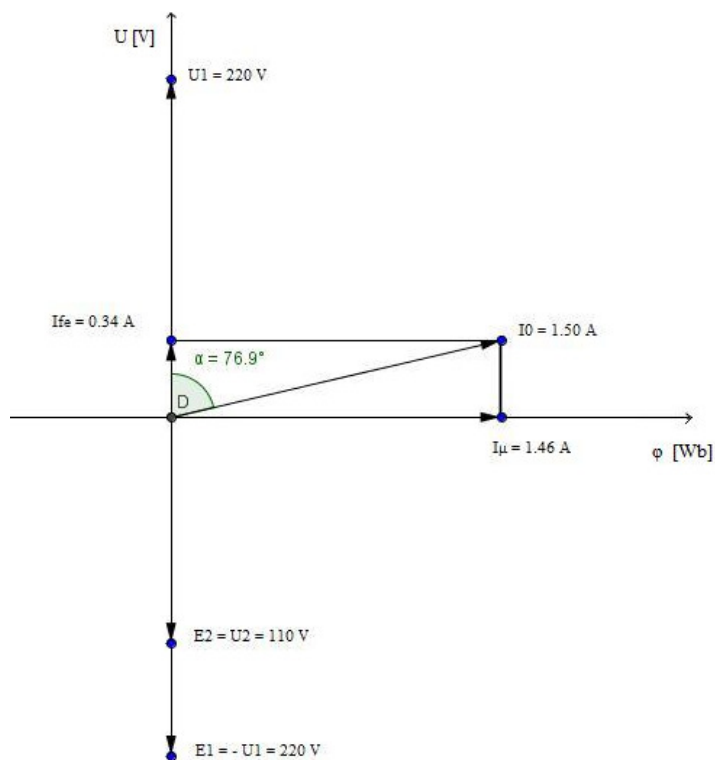


Figura 18. Diagrama fasorial Trafo 005

- Transformador 6

2.12-2.11

1.12-1.11

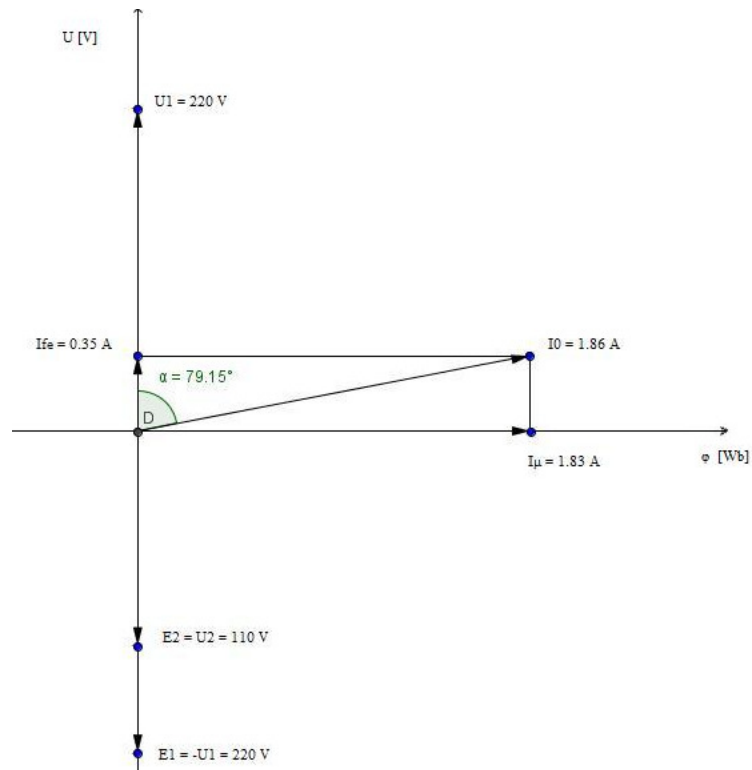


Figura 19. Diagrama fasorial Trafo 006

2.22-2.21

1.22-1.21

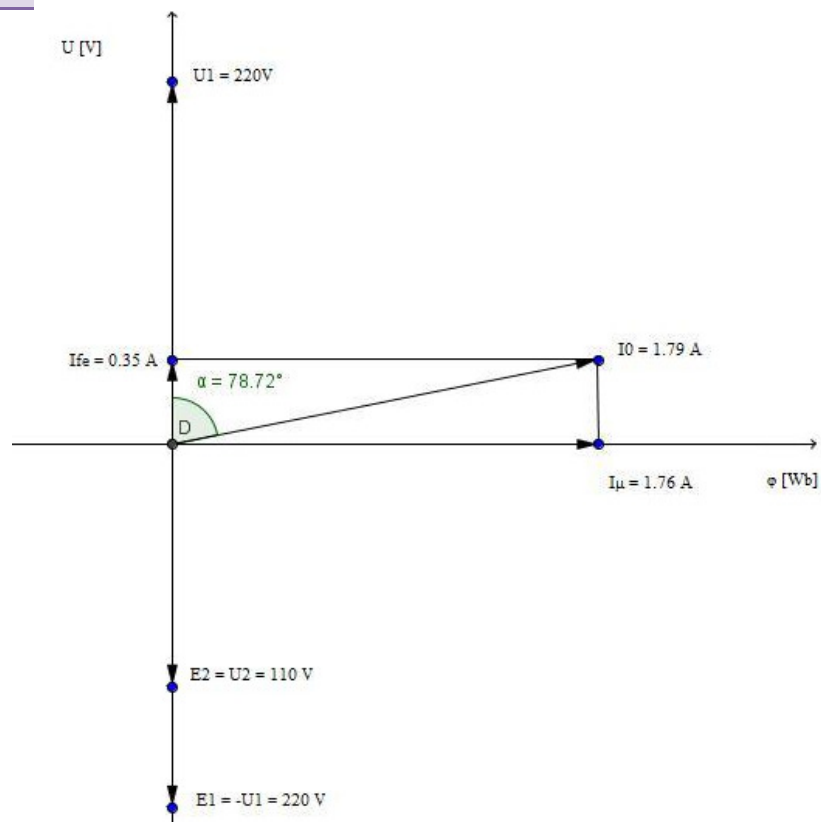


Figura 20. Diagrama fasorial Trafo 006

- Transformador 7

2.12-2.11

1.12-1.11

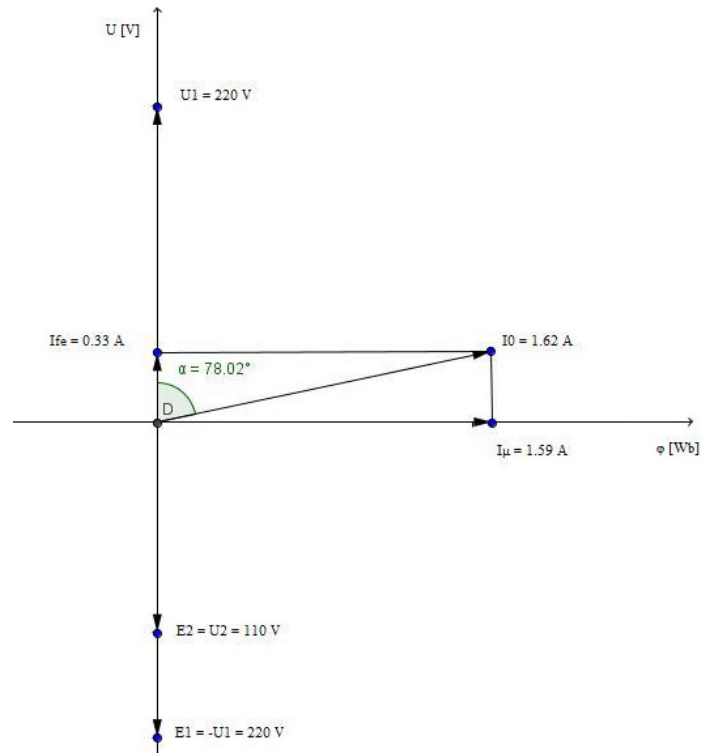


Figura 21. Diagrama fasorial Trafo 007

2.22-2.21

1.22-1.21

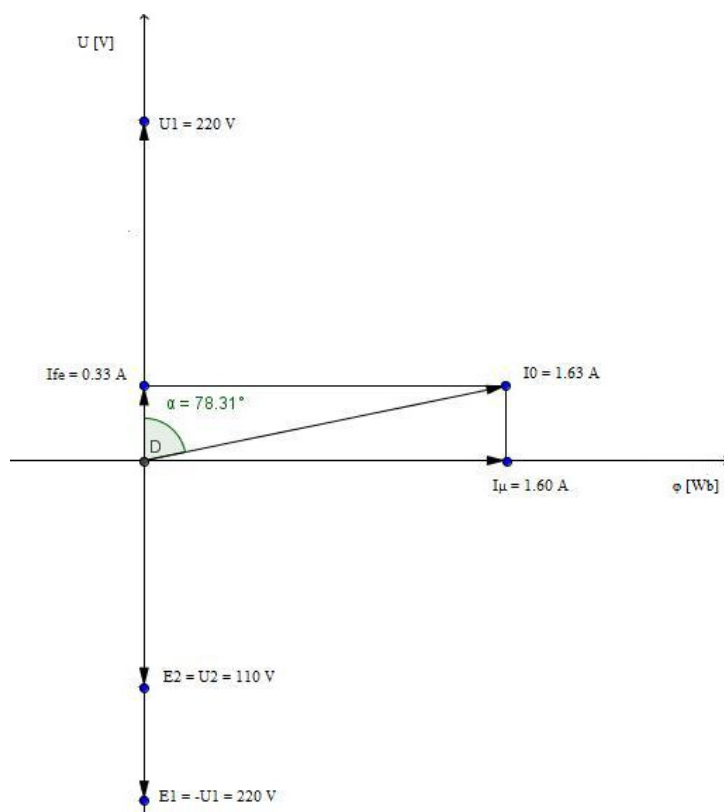


Figura 22. Diagrama fasorial Trafo 007

- Transformador 008

2.12-2.11

1.12-1.11

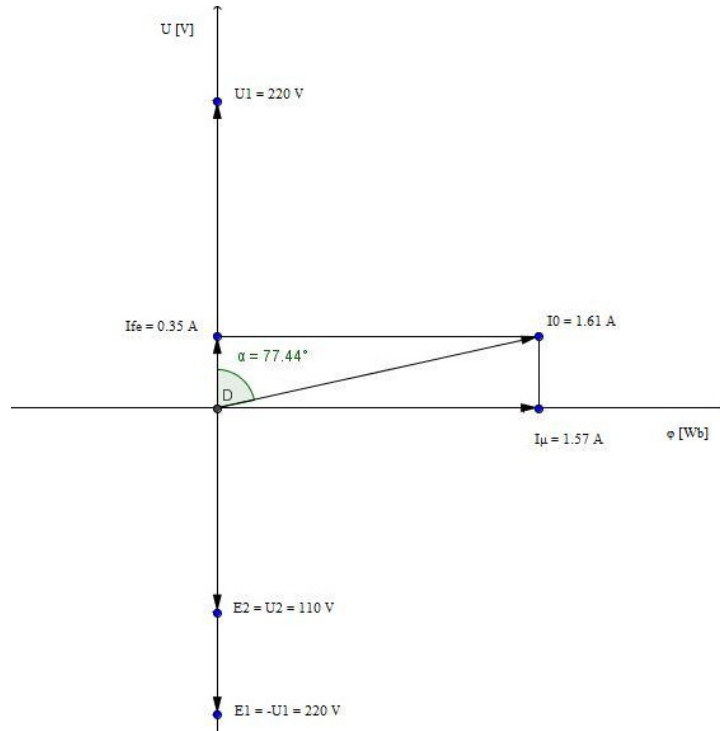


Figura 23. Diagrama fasorial Trafo 008

2.22-2.21

1.22-1.21

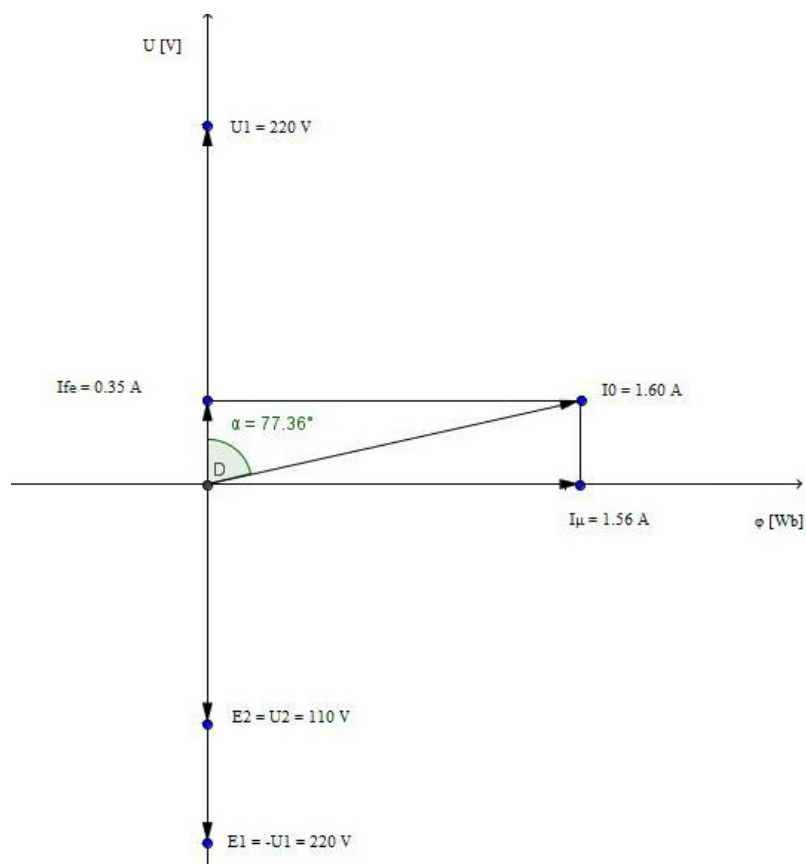


Figura 24. Diagrama fasorial Trafo 008

3.2.7 – Fulla de càlcul per a un transformador monofàsic.

Per altra banda, per tal de recollir tots els assajos realitzats a cada transformador s'ha creat un llibre amb varies fulles de càlcul mitjançant el programa Microsoft Excel.

Cada llibre té la seva nomenclatura específica. Pels transformadors monofàsics és la següent:

$$\text{Trafo_00X_monofàsic}$$

En el nom de l'arxiu ja s'indica el número de transformador que és segons referència del laboratori i també que aquest pertany als transformadors monofàsics assajats.

En un mateix llibre d'Excel s'analitzen els dos transformadors que formen l'encapsulat.

A continuació es descriu les fulles de càlcul tipus d'un llibre Excel per als transformadors monofàsics.

La primera fulla de càlcul que es troba és la denominada *Inici*. En aquesta es mostra la placa de característiques del transformador i els objectius que pretén cada assaig.

La placa de característiques és mostra en totes les fulles de càlcul. S'ha realitzat d'aquesta manera perquè així sempre es té present les característiques nominals del transformador i es poden consultar les seves característiques en tot moment.

La placa de característiques realitzada en cada fulla de càlcul conté el que marca la normativa.

La següent fulla de càlcul és la denominada *Resistències dels debanats*. En ella es mostra els valors de les resistències calculades mitjançant el mètode tensió - corrent que és el designat per la normativa. Concretament, hi ha un transformador monofàsic, el *Trafo_005_monofàsic*, en el qual s'ha estudiat la mesura de resistències mitjançant altres mètodes, concretament el Pont de Wheastone i el Pont de Thompson.

Un cop realitzat l'assaig d'escalfament, ja tenim l'increment de temperatura que ha patit el debanat. Com es sap, la resistència varia amb la temperatura, aquestes són directament proporcionals. Per tant, la temperatura final que assoleix el debanat és la temperatura ambient de la sala d'assaig afegint-li l'increment de temperatura obtingut en l'assaig d'escalfament.

$$\theta_2 = \text{Temperatura final} = \theta_a + \Delta\theta'c \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Equació 33. Temperatura final que assoleix el debanat d'un transformador

Amb aquesta temperatura final es calcula el valor de les resistències amb la fórmula següent:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_1}$$

Equació 34. Càlcul de les resistències en funció de la temperatura

essent θ_1 la temperatura ambient del laboratori d'assaig.

La pròxima fulla de càlcul que es troba és la denominada *Relació de transformació*. En ella es mostra el valor de la relació de transformació calculada.

Posteriorment, es troba la fulla de càlcul de l'*Assaig de buit*. Aquest assaig correspon a la mesura de les pèrdues i del corrent de buit descrit anteriorment. Degut al breu espai en el títol, s'ha optat per posar-li aquest nom ja que per obtenir l'assaig es fa treballar la màquina en buit.

Primer de tot es troba una taula on s'introdueixen els valors obtinguts en l'assaig, concretament U_{BT} , U_0 , I_0 i P_0 . Automàticament es calcula la relació de transformació, m , l'angle de desfasament entre tensió i intensitat en buit, φ_0 i el cosinus d'aquest. També es calcula la potència reactiva i aparent en buit del transformador, Q_0 i S_0 respectivament.

Amb els valors obtinguts en els càlculs, es realitza els següents gràfics:

- $I_0 = f(U_{B.T})$
- $\cos \varphi_0 = f(U_{B.T})$
- $\varphi_0 = f(U_{B.T})$
- $m = f(U_{B.T})$
- $P_0 = f(U_{B.T})$
- $\varphi_0, I_0, P_0 = f(U_{B.T})$

Amb ells s'observa com evolucionen els paràmetres obtinguts en la realització d'aquest assaig en funció de la tensió aplicada a la part de baixa tensió del transformador.

Com s'explica en l'apartat 3.2.3.4 – Pèrdues obtingudes, també es calcula les pèrdues en el coure en aquest assaig.

Aquestes es calculen amb la següent expressió:

$$P_{Cu0} = R_2 \cdot I_0^2 \quad [W]$$

Equació 35. Pèrdues en el coure en l'assaig de buit d'un transformador monofàsic

Segons diu la normativa, aquests seran assajats fins a un 110% de la tensió nominal del debanat a assajar. Per tal d'obtenir més valors en l'assaig, s'ha realitzat fins a un 125%.

A continuació es mostra les fórmules introduïdes a la fulla de càlcul:

- relació de transformació

Igual que l'Equació 2. Relació de transformació.

- $\cos \varphi_0$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{B.T} \cdot I_0}$$

Equació 36. Obtenció del $\cos \varphi_0$

- φ_0

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \left(\frac{P_0}{U_{B.T} \cdot I_0} \right) [^\circ]$$

Equació 37. Obtenció de φ_0

- potència reactiva en buit

$$Q_0 = U_{B.T} \cdot I_0 \cdot \sin \varphi_0 \text{ [VAr]}$$

Equació 38. Potència reactiva en buit

- potència aparent en buit

$$S_0 = \sqrt{P_0^2 + Q_0^2} \text{ [VA]}$$

Equació 39. Potència aparent en buit

Després d'aquesta, es troba la fulla de càlcul l'*Assaig de curtcircuit*. Aquest assaig correspon a la mesura de l' impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega. També per motius d'espai s'ha optat per posar-li aquest nom ja que per obtenir els paràmetres la màquina treballa en curtcircuit en un dels seus debanats.

Amb els valors de $I_{B.T}$ i I_{cc} obtinguts en aquest assaig es traça la gràfica de la característica de curtcircuit. Aquesta relaciona la intensitat que circula pel debanat curtcircuitat en funció de la intensitat nominal que circula per l'altre.

Ja que aquestes mesures no s'han pres per la intensitat nominal, per poder realitzar el circuit equivalent sorgeix la necessitat de que siguin calculades.

Aquestes es calculen amb la següent expressió:

$$P_{Cu} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 \quad [W]$$

Equació 40. Pèrdues en el coure a valor nominal en l'assaig de curtcircuit monofàsic

En aquest assaig es calculen les pèrdues en el ferro però a la tensió de curtcircuit.

Aquestes s'obtenen amb la següent expressió:

$$P_{Fecc} = \left(\frac{U_{cc}}{U_N} \right)^2 \cdot P_{Fe} \quad [W]$$

Equació 41. Pèrdues en el ferro a tensió reduïda

La pròxima fulla de càlcul dels paràmetres del *circuit equivalent*. A l'hora de realitzar els càlculs, en els assajos realitzats s'ha obtingut la intensitat de buit i la tensió de curtcircuit de la part de baixa tensió. Per tal de calcular aquests dos paràmetres referits a la part d'alta s'han emprat les següents expressions:

- Intensitat de buit

$$I_{A.T} = I_{01} = \frac{I_{02}}{m} \quad [A]$$

Equació 42. Intensitat de la banda d'A.T del circuit equivalent

- Tensió de curtcircuit

$$\frac{U_{cc}}{U_N} = U_{ccpu} \quad [p.u]$$

$$U_{A.T} = U_1 = U_{ccpu} \cdot U_2 \quad [V]$$

Equació 43. Tensió de curtcircuit de la banda d'A.T. del circuit equivalent

L'última fulla de càlcul que es troba és la de *l'Assaig d'escalfament*. En els transformadors monofàsics només s'ha realitzat al *Trafo_005_monofàsic*.

Com s'ha explicat aquest es divideix en dos assajos. Amb les dades preses al laboratori s'omple les dues taules i automàticament se'ns representa la corba d'escalfament, $\Delta\theta=f(\Delta t)$.

Degut a l'augment de temperatura, les resistències dels debanats del transformador han augmentat i aquestes s'han calculat per aquesta nova temperatura com s'explica en la fulla de càlcul de *Resistències dels debanats*. En aquest assaig es mostra els valors calculats a aquesta nova temperatura per tal de poder-los comparar amb els mesurats a la temperatura θ_1 .

Amb els increments de temperatura de cada assaig es calcula l'escalfament total dels debanats mitjançant la fórmula que apareix.

D'altra banda, també s'ha de calcular l'equació de la corba d'escalfament.

Aquesta té la següent expressió:

$$\theta_{(t)} = (\theta_s - \theta_a) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + \theta_a$$

Equació 44. Equació general de la corba d'escalfament

Per obtenir-la, s'ha de calcular la temperatura de servei, θ_s i la constant de temps de l'escalfament, τ .

En procediment que es descriu a continuació serveix per ambdós assajos.

Per obtenir el valor de la temperatura de servei, segons normativa aquesta s'assoleix quan en una hora l'escalfament es manté constant, és a dir, no varia més de 1K per hora.

En aquest projecte, degut a que es tardaria molta estona en assolir aquesta variació, s'ha optat que si en 30 minuts no varia 1K es considera que l'escalfament es manté constant.

Per obtenir aquesta temperatura, s'observa en la gràfica $\Delta\theta=f(\Delta t)$ quan el l'escalfament és mante constant.

En la gràfica s'obté l'increment de temperatura i el que es busca és la temperatura. Per tant a aquest increment se li ha de sumar la θ_0 .

$$\theta_s = \Delta\theta + \theta_0 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Equació 45. Temperatura de servei

El següent i últim pas per obtenir l'equació de l'escalfament és la constant de temps, τ .

Per trobar el valor d'aquesta, s'ha de linealitzar uns punts. S'agafen els dos primers.

Δt [min]	θ [°]
x_1	y_1
x_2	y_2
t	θ_s

Amb aquests dos punts es calcula la recta que passa per ells amb les següents expressions:

$$y - y_1 = m (x - x_1)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

S'obté una equació de la següent forma:

$$y = mx - x_1 + y_1$$

Si en aquesta equació es substitueix y , per la temperatura de servei, θ_s , i s'aïlla x , s'obté el valor de la constants temps. Serà el temps que tardarà en escalfar-se el transformador si ho fa a la velocitat inicial d'escalfament.

$$x = \frac{y + x_1 - y_1}{m}$$

Per a cada transformador s'obté dues equacions d'escalfament.

3.2.8 – Fulla de càlcul per a un transformador trifàsic.

Per tal de recollir tots els assajos realitzats a cada transformador trifàsic, també s'ha creat un llibre amb varies fulles de càlcul.

Com en els monofàsics, cada llibre té la seva nomenclatura específica. Aquesta és la següent:

$$Trafo_00X_trifàsic$$

En el nom de l'arxiu també s'indica el número de transformador que és segons la referència del laboratori i que pertany als transformadors trifàsics assajats.

En un mateix llibre d'Excel també s'analitza els dos transformadors que formen l'encapsulat.

Aquest té el mateix format que en el transformador monofàsic per tant només es comentaran les diferències entre ambdós.

La primera fulla que es troba és la denominada *Inici*. Conté els objectius i la placa de característiques del transformador.

La següent fulla de càlcul és la denominada *Resistències dels debanats*. En ella es mostra els valors de les resistències calculades mitjançant el mètode tensió - corrent que és el designat per la normativa. Concretament, hi ha un transformador trifàsic el *Trafo_001_trifàsic*, en el qual s'ha estudiat la mesura de resistències mitjançant altres mètodes, concretament el Pont de Wheatstone i el Pont de Thompson.

Aquesta fulla de càlcul també conté el càlcul de les resistències amb l'increment de temperatura com en els transformador monofàsics.

La pròxima fulla de càlcul que es troba és la denominada *Relació de transformació*. Té la mateixa funció que en els transformador monofàsics.

Posteriorment, es troba la fulla de càlcul de l'*Assaig de buit*. Al ser un transformador trifàsic, en el laboratori d'assaig s'han mesurat els valors de tensió nominal, de tensió, intensitat i potència de buit per a cada fase.

En quan al càlculs, s'ha treballat amb les mitjanes aritmètiques d'aquests valors. Per tant amb les dades obtingudes en el laboratori, s'han d'introduir a la taula la qual realitza les mitjanes aritmètiques i aquesta està automatitzada amb l'altra taula per realitzar els càlculs i gràfics propis d'aquest assaig, els mateixos que en el transformador monofàsic.

Com en el transformador monofàsic, també es calculen les pèrdues en el coure en aquest assaig. Al ser un transformador trifàsic, s'utilitza diferent expressió respecte als monofàsics, aquesta és la següent:

$$P_{cu0} = R_{2U} \cdot I_0^2 + R_{2V} \cdot I_0^2 + R_{2W} \cdot I_0^2 \quad [W]$$

Equació 46. Pèrdues en el coure en l'assaig de mesura de pèrdues i del corrent de buit d'un transformador trifàsic

Consisteix en la suma de les pèrdues en el coure de cada fase.

A continuació es mostra les fórmules introduïdes en la fulla de càlcul:

$$U_{B.T.} = \frac{U_R + U_S + U_T}{3} \quad [V]$$

Equació 47. Mitjana aritmètica de la tensió aplicada

$$U_0 = \frac{U_{0R} + U_{0S} + U_{0T}}{3} [V]$$

Equació 48. Mitjana aritmètica de la tensió de buit induïda

$$I_0 = \frac{I_{0R} + I_{0S} + I_{0T}}{3} [A]$$

Equació 49. Mitjana aritmètica de la intensitat de buit

$$P_0 = \frac{P_{0R} + P_{0S} + P_{0T}}{3} [W]$$

Equació 50. Mitjana aritmètica de la potència absorbida en buit

Amb la mitjana aritmètica d'aquests valors es calculen els següents paràmetres:

- relació de transformació

Igual que l'Equació 2. Relació de transformació.

- $\cos \varphi_0$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{B.T} \cdot I_0}$$

Equació 51. Obtenció de $\cos \varphi_0$ en un transformador trifàsic

- φ_0

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \left(\frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{B.T} \cdot I_0} \right) [^\circ]$$

Equació 52. Obtenció de φ_0

- potència reactiva en buit

$$Q_0 = \sqrt{3} \cdot U_{B.T} \cdot I_0 \cdot \sin \varphi_0 \text{ [VAr]}$$

Equació 53. Potència reactiva en buit d'un transformador trifàsic

- potència aparent en buit

Igual que l'Equació 39. Potència aparent en buit.

A continuació es troba la fulla de càlcul l'*Assaig de curtcircuit*. A l'igual que en la fulla de càlcul anterior, en aquesta també s'ha mesurat els valors de intensitat nominal, intensitat de curtcircuit i tensió de curtcircuit de cada fase. Per tant també s'ha de treballar amb les mitjanes aritmètiques d'aquests valors.

En aquest també hi ha una taula on s'han d'introduir les dades preses en el laboratori la qual és l'encarregada de calcular les mitjanes aritmètiques. Aquesta taula automàticament està combinada amb l'altra i es realitzen els càlculs pertinents a aquest assaig.

Com en l'assaig monofàsic, els valors obtinguts en aquest assaig s'han emprat per realitzar la característica de curtcircuit, ja que al ser una recta no es necessita obtenir-la a la intensitat nominal, i mitjançant càlcul s'han obtingut les pèrdues a intensitat nominal per poder calcular el circuit equivalent.

La pròxima fulla de càlcul és la dels paràmetres del *circuit equivalent*. A l'hora de realitzar els càlculs, en els assajos realitzats s'ha obtingut la intensitat de buit i la tensió de curtcircuit de la part de baixa tensió. Com en els transformadors monofàsics, també s'ha calculat mitjançant la relació de transformació la intensitat de buit i la tensió de

curtcircuit equivalents a la part de alta tensió per tal de poder realitzar el circuit equivalent des d'aquesta part.

L'última fulla de càlcul que es troba és la de *l'Assaig d'escalfament*. En els transformadors trifàsics s'ha realitzat aquest assaig al *Trafo_001_trifàsic*. Es realitza el mateix procediment que en els transformadors monofàsics.

3.3 – Assajos a realitzar en les màquines síncrones

Amb l'aplicació de la normativa vigent, es practiquen els assajos següents en dues màquines síncrones del laboratori.

Per poder realitzar aquests assajos, es necessita que la màquina síncrona treballi com a generador. Per fer-ho es necessita l'ajuda d'un motor auxiliar, d'un motor de corrent continu que doni energia mecànica a l'eix del generador síncron.

La connexió elegida és una connexió composta llarga additiva. Aquesta ens permet regular finament la velocitat del motor i fer que la seva arrancada sigui suau.

3.3.1 – Mesura de les resistències

3.3.1.1 – Objectius

En aquest assaig es pretén obtenir la resistència dels debanats inductor i induït de la màquina síncrona mitjançant el mètode tensió – corrent usat com a referència en la normativa vigent. És el mateix mètode que s'utilitza per mesurar les resistències dels debanats en els transformadors.

Cal esmentar que en aquestes màquines, ja s'obté directament la resistència de fase, R_f , ja que en la placa de borns hi ha els dos borns accessibles.

3.3.1.2 – Llistat de material

El material emprat en el laboratori per dur a terme l'assaig és el següent:

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable amb rectificador
- 1 Banc de resistències regulables
 - o No interessa el valor al qual es reguli ja que té com a objectiu limitar el corrent que circuli pel circuit. Aquesta valor no regulat no afecta a les mesures de tensió i corrent.
- 1 Amperímetre en CC
- 1 Voltímetre en CC
- 1 Màquina síncrona

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori*.

3.3.1.3 – Procediment d'assaig

Per tal d'obtenir el valor de la resistència, a continuació es descriu el procediment a seguir en el laboratori.

Una vegada s'ha realitzat el muntatge de l'esquema 16 es procedeix a:

- 1 – Es regula el valor de la resistència del banc de resistències regulables. No interessa el valor d'aquesta ja que la seva funció dins del circuit és únicament limitar el corrent que hi circula.
- 2 – Es procedeix a donar tensió a la font d'alimentació de tensió regulable amb rectificador i amb els aparells de mesura descrits anteriorment es prendran nota de les seves lectures.
- 3- Amb aquests valors, s'aplica la Llei d'Ohm per tal de saber el valor de la resistència en cada cas.

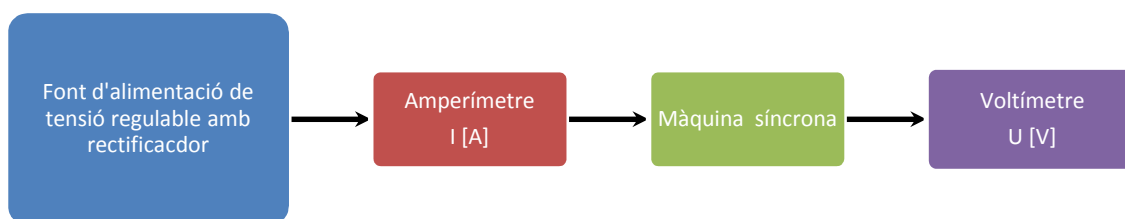


Figura 25. Diagrama de la mesura de les resistències dels debanats inductor i induït

3.3.1.4 – Resultats obtinguts

Inductor	Resistència [Ω]
IK	109,90

Taula 73. Mesura de la resistència de l'inductor de la màquina AEG Nr 6737939

Induït	Resistència [Ω]
UX	2,57
VY	2,57
WZ	2,61

Taula 74. Mesura de les resistències de l'induït de la màquina AEG Nr 6737939

Inductor	Resistència [Ω]
IK	12,09

Taula 75. Mesura de la resistència de l'inductor de la màquina Electramolins Nr 2934/75

Induït	Resistència [Ω]
UX	1,01
VY	1,01
WZ	1,00

Taula 76. Mesura de les resistències de l'induït de la màquina Electramolins Nr 2934/75

Per més informació observar l'annex 2.1- *Mesura de les resistències* i les fulles de càlcul de cada màquina síncrona.

3.3.2 – Assaig en circuit obert

3.3.2.1 – Objectius

Amb la realització d'aquest assaig es pretén obtenir la característica en circuit obert d'un generador síncron. Aquesta relaciona la força electromotriu induïda en els debanats de l'estator en funció de la intensitat d'excitació aplicada al rotor.

Les fems induïdes en la màquina a una freqüència constant (velocitat constant), són proporcionals al valor del flux concatenat per l'induït. Com que aquest flux, funcionant la màquina en buit està determinat pel corrent d'excitació, es diu que la f.e.m. induïda en circuit obert és funció d'aquesta intensitat d'excitació. La representació gràfica d'aquesta funció defineix la característica en circuit obert.

$$E_0 = f(I_{exc})$$

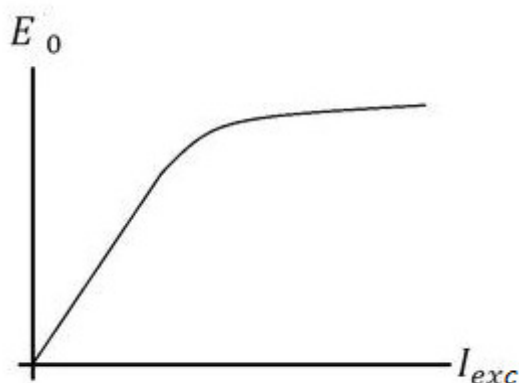


Figura 26. Característica en circuit obert

Per obtenir-la, es necessita que la màquina treballi en buit. Això s'aconsegueix amb l'ajuda d'un motor de corrent continu que és l'encarregat de donar energia mecànica al rotor de del generador síncron i fer que aquest agafi la velocitat de sincronisme.

Aquesta característica es representa mitjançant dues branques, una ascendent i una altra descendent. No obstant, aquesta divergència és petita i depèn de la influència de la histèresis en els pols i al jou de la màquina.

3.3.2.2 – Llistat de material

El material emprat en el laboratori per dur a terme l'assaig és el següent:

- 2 Fonts d'alimentació de tensió regulable amb rectificador
 - o Una per alimentar el motor auxiliar i l'altra per l'excitació de la màquina síncrona
- 2 Amperímetres en CC per mesurar la intensitat d'excitació del motor i del generador.
- 1 Tacòmetre
- 3 Voltímetres en CA per mesurar la tensió induïda U_0
- 1 Motor auxiliar de corrent continu per donar potència mecànica en l'eix del generador
- 1 Màquina síncrona

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori.*

3.3.2.3 – Procediment d'assaig

Un cop s'ha realitzat el muntatge de l'esquema 17, 18 o 19 es procedeix a:

- 1- Es procedeix a donar tensió a la font d'alimentació de tensió regulable amb rectificador per tal d'alimentar el motor de corrent continu. Es dona tensió fins que amb un tacòmetre s'observa que aquest ha assolit la velocitat nominal.
- 2- Seguidament, es procedeix a augmentar progressivament la intensitat d'excitació des de zero fins que s'observa en l'amperímetre que circula la intensitat nominal d'excitació que figura en la placa de característiques.
- 3- Per cada valor d'intensitat d'excitació escollit es pren mesures de la tensió en borns (E_0) i d'aquesta (I_{exc}).
- 4- Es realitza una presa de valors en increment de la I_{exc} fins el seu valor màxim, i posteriorment una presa de valors en decrement de la I_{exc} fins a zero.

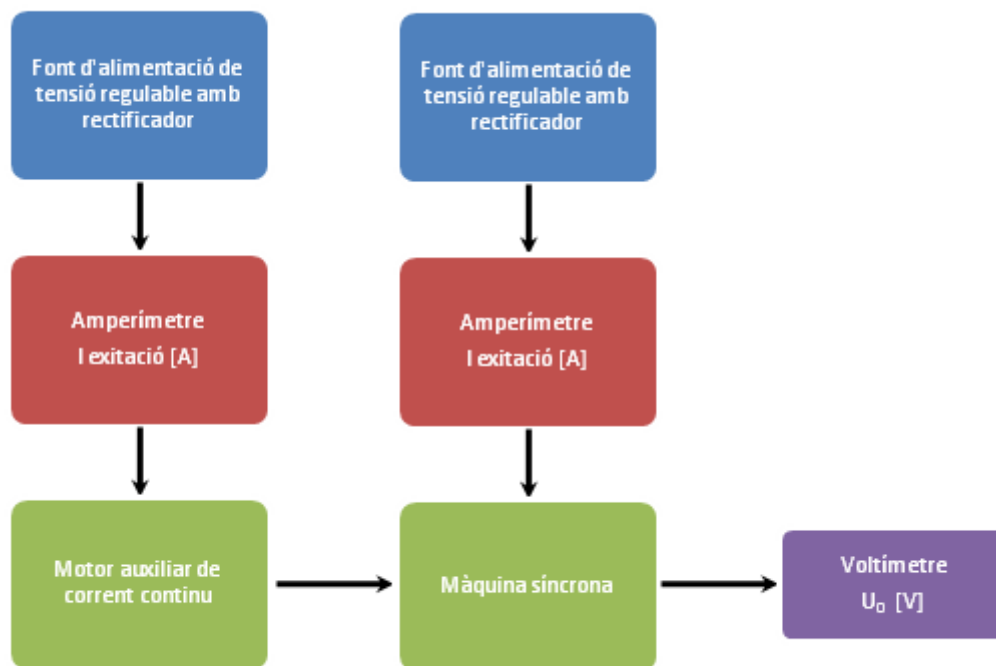
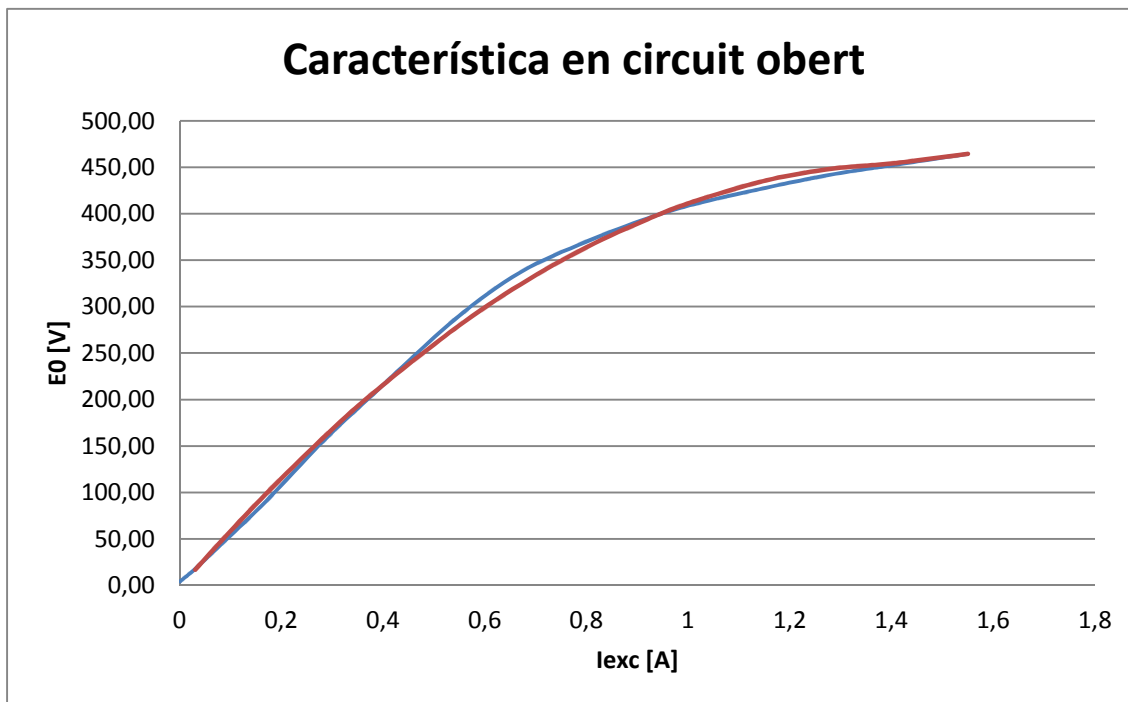
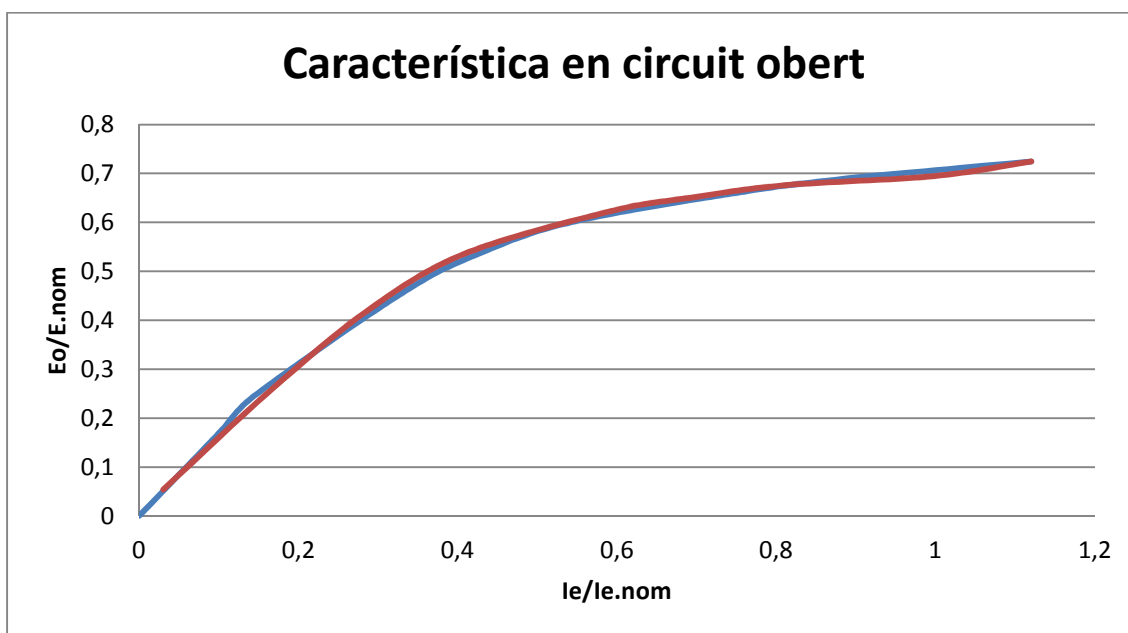


Figura 27. Diagrama de l'assaig a circuit obert en una màquina síncrona

3.3.2.4 – Resultats obtinguts



Gràfic 21. Característica en circuit obert AEG Nr 6737939



Gràfic 22. Característica en circuit obert Electramolins Nr 2934/75

Per més informació observar l'annex 2.2- *Assaig en circuit obert* i les fulles de càlcul de cada màquina síncrona.

3.3.3 – Assaig de curtcircuit permanent

3.3.3.1 – Objectius

Amb la realització d'aquest assaig es pretén obtenir la característica de curtcircuit d'un generador síncron. Aquesta és la corba representativa que relaciona el corrent que circula per l'induït, I en funció del corrent d'excitació I_{exc} quan els borns de la màquina estan units i la màquina gira a la velocitat nominal.

$$I_{cc} = f(I_{exc})$$

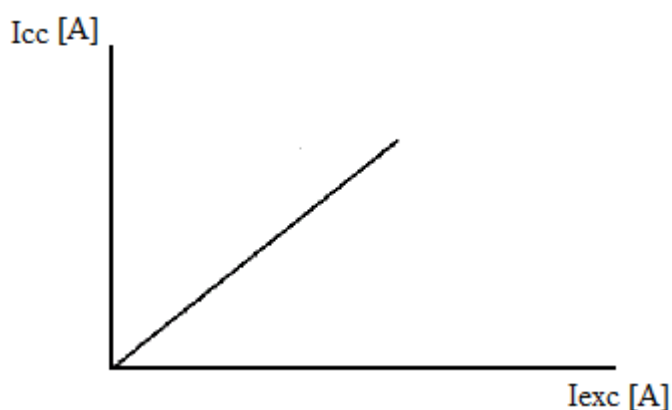


Figura 28. Característica de curtcircuit

Aquesta característica és una línia recta degut a que en aquestes condicions el circuit magnètic no està saturat perquè tant l'excitació resultant com el flux són d'un valor baix.

3.3.3.2 – Llistat de material

El material emprat en el laboratori per dur a terme l'assaig és el següent:

- 2 Fonts d'alimentació de tensió regulable amb rectificador
 - o Una per alimentar el motor auxiliar i l'altra per l'excitació de la màquina síncrona
- 2 Amperímetres en CC per mesurar la intensitat d'excitació del motor i la del generador.
- 1 Tacòmetre
- 3 Amperímetres en CA per mesurar la intensitat de curtcircuit I_{cc} .
- 1 Motor auxiliar de corrent continu per donar potència mecànica en l'eix del generador
- 1 Màquina síncrona

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori.*

3.3.3.3 – Procediment d'assaig

Aquesta característica s'obté unint els extrems del debanat induït amb un amperímetre d'escala adequada o simplement amb un cable i mesurant la intensitat que circula amb una pinça amperimètrica.

Un cop s'ha realitzat el muntatge de l'esquema 20, 21 o 22 es procedeix:

1- Es procedeix a donar tensió a la font d'alimentació de tensió regulable amb rectificador per tal d'alimentar el motor de corrent continu. Es dona tensió fins que amb un tacòmetre s'observa que aquest ha assolit la velocitat nominal.

2 - En aquestes condicions s'augmenta la I_{exc} des de zero i s'anoten les lectures de I i I_{exc} fins arribar a veure circular el valor nominal de la intensitat de l'induït de la màquina en els aparells de mesura.

Es important tenir en compte que la màquina està en curtcircuit i per tant és necessari en tot moment no sobrepassar les intensitats nominals.

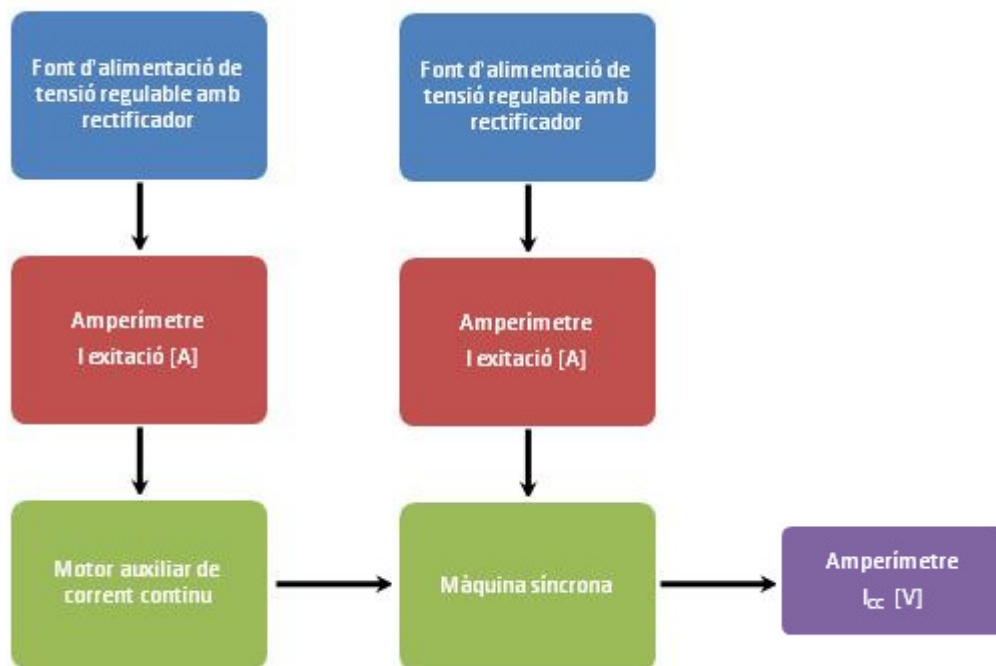
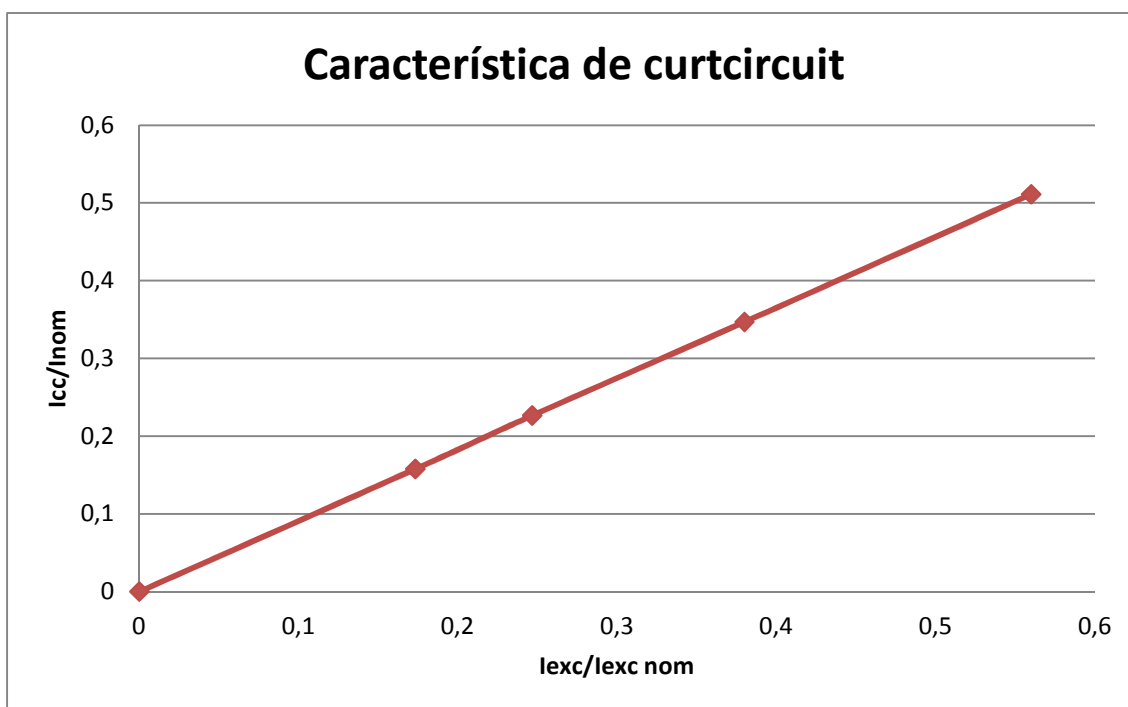


Figura 29. Diagrama de curtcircuit permanent

3.3.3.4 – Resultats obtinguts

$I_{\text{EXCITACIÓ}} [\text{A}]$	$I_{\text{CC}} [\text{A}]$	$I_{\text{EXC}} / I_{\text{EXC NOM}}$	$I_{\text{CC}} / I_{\text{INDUÏT NOM}}$
0	0	0	0
0,26	0,92	0,17	0,16
0,37	1,31	0,25	0,23
0,57	2,01	0,38	0,35
0,84	2,96	0,56	0,51

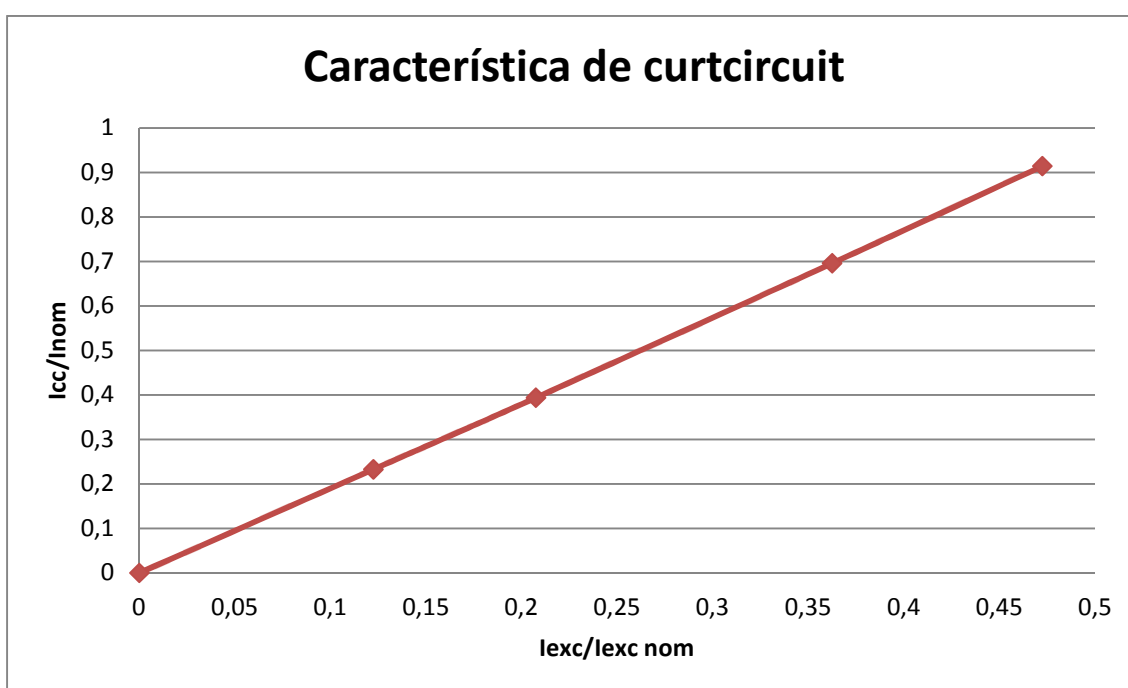
Taula 77. Assaig de curtcircuit permanent AEG Nr 6737939



Gràfic 23. Característica de curtcircuit de la màquina síncrona AEG Nr 6737939

$I_{\text{EXCITACIÓ}} [\text{A}]$	$I_{\text{CC}} [\text{A}]$	$I_{\text{EXC}} / I_{\text{EXC NOM}}$	$I_{\text{CC}} / I_{\text{INDUÏT NOM}}$
0	0	0	0
0,49	2,10	0,12	0,23
0,83	3,55	0,21	0,39
1,45	6,27	0,36	0,70
1,89	8,23	0,47	0,91

Taula 78. Assaig de curtcircuit permanent Electramolins Nr 2934/75



Gràfic 24. Característica de curtcircuit de la màquina síncrona Electramolins Nr 2934/75

Per més informació observar l'annex 2.3- *Assaig de curtcircuit permanent* i les fulles de càlcul de cada màquina síncrona.

3.3.4 – Assaig amb factor de potència zero

3.3.4.1 – Objectius

Amb la realització d'aquest assaig es pretén obtenir la característica reactiva d'un generador síncron.

Aquesta característica relaciona la tensió en borns de la càrrega en funció de la intensitat d'excitació de la mateixa, amb factor de potència és igual a zero, és a dir, circula un corrent purament reactiu. Això s'aconsegueix connectant al generador una càrrega purament inductiva.

$$U_b = f(I_{exc})$$

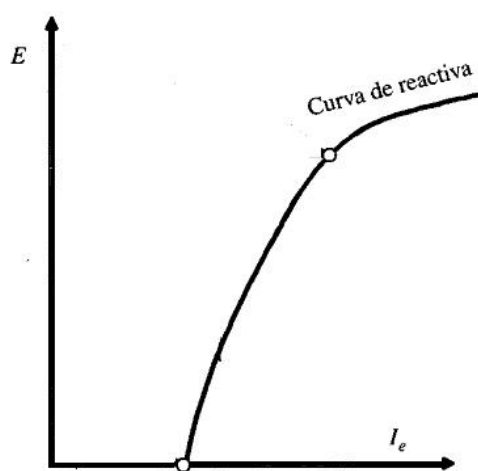


Figura 30. Característica de reactiva

3.3.4.2 – Llistat de material

El material emprat en el laboratori per dur a terme l'assaig és el següent:

- 2 Fonts d'alimentació de tensió regulable amb rectificador
 - o Una per alimentar el motor auxiliar i l'altra per l'excitació de la màquina síncrona
- 2 Amperímetres en CC per mesurar la intensitat d'excitació del motor i la del generador.
- 1 Tacòmetre
- 3 Amperímetres en CA per mesurar la intensitat de l'induït.
- 3 Voltímetres en CA per mesurar la tensió en borns de la càrrega, U_{borns}
- 1 Motor auxiliar de corrent continu per donar potència mecànica en l'eix del generador
- 1 Màquina síncrona
- Bateria de reactàncies és la càrrega inductiva pura.

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori.*

3.3.4.3 – Procediment d'assaig

Aquesta característica s'obté connectant una càrrega purament reactiva al generador síncron per tal que circuli una intensitat purament inductiva.

Un cop s'ha realitzat el muntatge de l'esquema 23, 24 o 25 es procedeix:

- 1- Es procedeix a donar tensió a la font d'alimentació de tensió regulable amb rectificador per tal d'alimentar el motor de corrent continu. Es dona tensió fins que amb un tacòmetre s'observa que aquest ha assolit la velocitat nominal.
- 2- En aquestes condicions, es dona tensió a l'altra font de tensió regulable amb rectificador per excitar el rotor del generador síncron.
- 3- Per cada valor de I_{exc} , apareix una tensió en borns de la càrrega i una intensitat que circula per l'induït. Es pren nota dels valors que s'observa en els aparells de mesura.

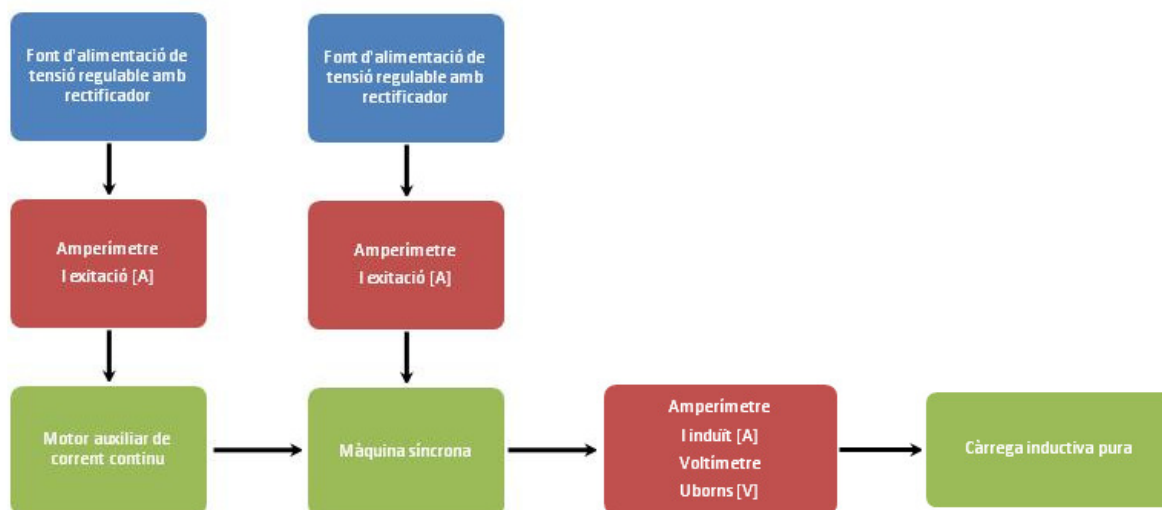
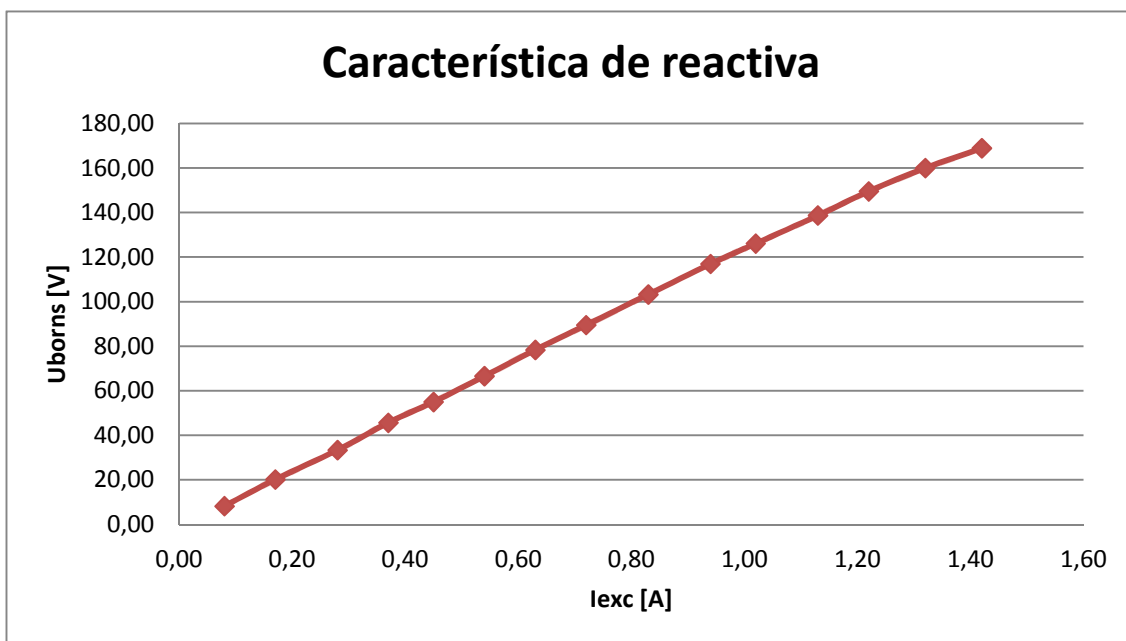


Figura 31. Diagrama de l'assaig amb factor de potència zero

3.3.4.4 – Resultats obtinguts

$I_{\text{EXCITACIÓ}} [\text{A}]$	$U_{\text{BORNES}} [\text{V}]$	$I_{\text{INDUIT}} [\text{A}]$
0,08	8,27	0,21
0,17	20,20	0,33
0,28	33,40	0,55
0,37	45,70	0,77
0,45	55,03	0,93
0,54	66,60	1,13
0,63	78,37	1,33
0,72	89,53	1,52
0,83	103,27	1,76
0,94	116,97	1,99
1,02	126,13	2,17
1,13	138,73	2,39
1,22	149,57	2,58
1,32	160,03	2,77
1,42	168,93	2,95

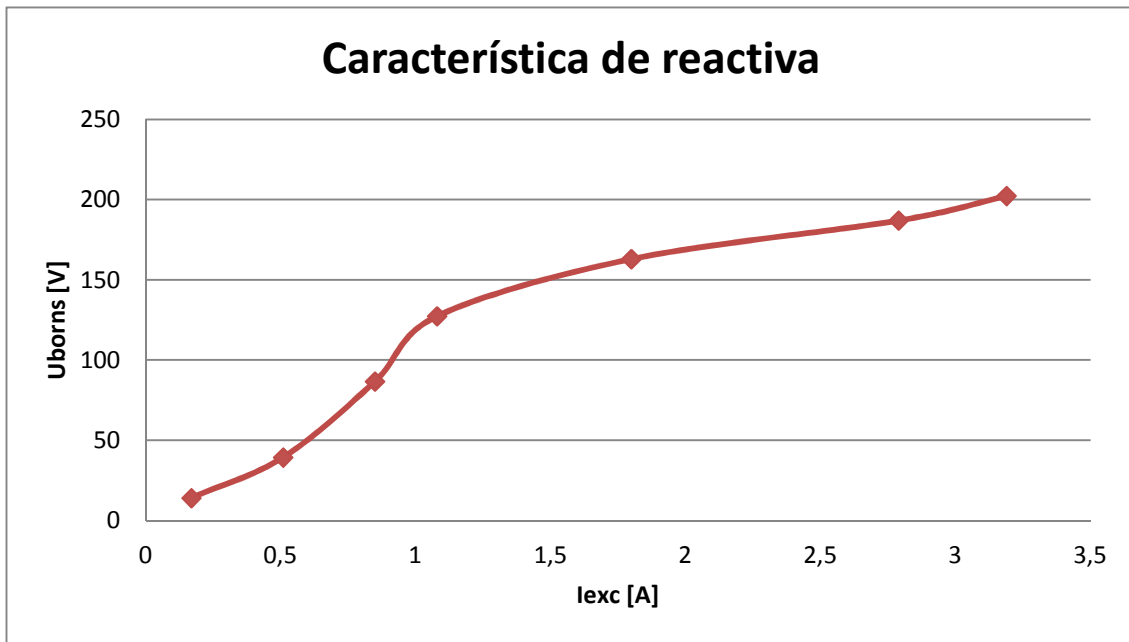
Taula 79. Assaig amb factor de potència zero AEG 6737939



Gràfic 25. Característica de reactiva AEG 6737939

$I_{EXCITACIÓ} [A]$	$U_{BORNs}[V]$	$I_{INDUÏT} [A]$
0,17	14	0,23
0,51	39,33	0,67
0,85	86,67	1,47
1,08	127,33	2,18
1,8	163,00	2,85
2,79	187,00	3,33
3,19	202,33	3,67

Taula 80. Assaig amb factor de potència zero Electramolins Nr 2934/75



Gràfic 26. Característica de reactiva Electramolins Nr 2934/75

Per més informació observar l'annex 2.4- *Assaig amb factor de potència la unitat* i les fulles de càlcul de cada màquina síncrona.

3.3.5 – Obtenció de les pèrdues d'una màquina síncrona segons normativa

3.3.5.1 – Objectius

Amb la realització d'aquest assaig es pretén obtenir les pèrdues d'una màquina síncrona.

Les pèrdues totals segons normativa es consideren com la suma de les pèrdues següents:

- **Pèrdues constants o pèrdues independents de la intensitat**

Aquestes són la suma de les pèrdues en el ferro i de les pèrdues mecàniques.

El circuit magnètic dels pols està excitat amb corrent continu i està per tant interessat a un flux constant que no doni lloc a pèrdues.

El ferro del circuit induït, per efecte de la rotació es veu afectat per una magnetització cíclicament variable i per tant en ell hi ha dissipacions de potència per histèresi magnètica i per corrents paràsits de Foucault.

Aquesta potència dissipada constitueix les pèrdues en el ferro d'un generador síncron.

Les pèrdues mecàniques representen la suma de la potència dissipada degut al fregament i a la ventilació. Aquestes pèrdues en un generador síncron depenen exclusivament de la velocitat de rotació i aquesta no sofreix canvis apreciables quan la màquina passa de funcionar en buit a funcionar en càrrega.

$$P_K = P_{Fe} + P_M = P_{Fe} + P_{fw} \quad [W]$$

Equació 54. Pèrdues constants d'una màquina síncrona

Per obtenir aquestes pèrdues s'utilitza l'expressió següent:

$$P_{Fe} + P_{fw} = P_0 - 3 \cdot R_F \cdot I_{F0}^2 \quad [W]$$

Les pèrdues constants són sempre una suma de les pèrdues en el ferro i de les pèrdues mecàniques. Per obtenir-les, de la potència activa absorbida en buit se li resta les pèrdues en el coure en buit.

- **Pèrdues en càrrega o pèrdues normals dependents de la intensitat**

Aquestes corresponen a les pèrdues per efecte Joule en els debanats induït i inductor de la màquina síncrona. En el present projecte, aquestes s'han calculat pel punt de intensitat nominal.

$$P_{CÀRREGA} = 3 \cdot R_F \cdot I_F^2 \quad [W]$$

Equació 55. Pèrdues en càrrega d'una màquina síncrona

Les pèrdues totals que té una màquina síncrona són les pèrdues constants i les pèrdues en càrrega.

$$P_T = P_K + P_{\text{CÀRREGA}} \quad [\text{W}]$$

Equació 56. Pèrdues totals d'una màquina síncrona

- Pèrdues en el circuit d'excitació

Són les pèrdues per efecte Joule en el debanat d'excitació de la màquina. Aquestes només s'han de tenir en compte si l'excitació de la màquina està acoblada mecànicament a l'eix principal.

En el cas de l'assaig en el laboratori s'usa una excitació independent, per tant no s'han de tenir en compte.

3.3.5.2 – Llistat de material

El material emprat en el laboratori per dur a terme l'assaig és el següent:

- 2 Fonts d'alimentació de tensió regulable amb rectificador
 - o Una per alimentar el motor auxiliar i l'altra per l'excitació de la màquina síncrona
- Font d'alimentació de tensió regulable que simula la xarxa
- 2 Amperímetres en CC per mesurar la intensitat d'excitació del motor i la del generador.
- 1 Tacòmetre
- 2 Analitzadors de xarxa per observar el flux de potències i mesurar la tensió del generador
- 3 Amperímetres en CA per mesurar la intensitat circulant, I_0
- 2 Voltímetres en CA
 - o Un mesura la tensió en la que es troba la xarxa i l'altre la tensió d'acoblament.
- 1 Contactor amb el seu sistema de comandament
- 1 Sincronoscopi
- 1 Motor auxiliar de corrent continu per donar potència mecànica en l'eix del generador
- 1 Màquina síncrona

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori*

3.3.5.3 – Procediment d'assaig

Per tal d'obtenir les pèrdues a considerar segons normativa, en aquest tipus de màquines s'ha de practicar un assaig amb factor de potència la unitat a tensió i a freqüència nominals.

Per poder obtenir les pèrdues independents de la intensitat es determina pel mètode de fer girar la màquina síncrona com a motor en buit. La potència elèctrica absorbida disminuïda per les pèrdues per efecte Joule (RI^2) dóna lloc a aquest tipus de pèrdues.

El fet de fer funcionar una màquina síncrona com a motor no és una maniobra senzilla.

La màquina síncrona en el seu funcionament com a motor presenta un greu inconvenient. Encara que el seu debanat inductor estigui excitat, inclús quan la màquina està en repòs, a qualsevol velocitat que no sigui la de sincronisme el parell motor mig que desenvolupa al connectar-la a la xarxa és nul.

En conseqüència el motor síncron perquè funcioni com a tal precisa que prèviament sigui portat a la velocitat de sincronisme.

El mètode elegit per portar-lo al sincronisme és el següent:

Arrancada amb un motor auxiliar, de corrent continua, seguit per l'acoblament en paral·lel de la màquina síncrona a la xarxa, operació exactament igual al corresponent funcionament com alternador.

Per acoblar un generador síncron s'ha de complir una sèrie de condicions:

- 1 – Els sistemes polifàsics de tensions i de la xarxa a la qual va a acoblar-se, han de tenir el mateix nombre de fases, la mateixa seqüència i la mateixa tensió eficaç nominal.
- 2- Les freqüències han de ser iguals, això implica que la velocitat de l'alternador a acoblar-se ha de correspondre amb la freqüència del sistema sobre el qual es va a connectar. Aquesta velocitat ha de ser:

$$n = \frac{60 \cdot f_1}{p} \text{ [rpm]}$$

Equació 57. Velocitat de rotació d'una màquina síncrona

Aquesta condició ha de ser tant rigorosa com sigui possible, d'aquí surt la necessitat de poder regular finament la velocitat dels motors primaris al voltant de la velocitat de sincronisme.

3- Les tensions homòlogues de l'alternador i de la xarxa han d'estar en fase en l'instant de la connexió, el que significa que la diferència de tensions entre els borns homòlegs de l'interruptor de connexió ha de ser nul·la en l'instant del tancament dels contactes.

La primera condició és permanent i només s'ha de comprovar, en general, la primera vegada que es va a acoblar un alternador.

Les restants són condicions momentànies que s'han de complir sempre i verificar-les en l'instant mateix de l'acoblament en paral·lel.

D'aquestes condicions es desprèn que serà precís comptar amb algun dispositiu que indiqui la igualtat de les tensions i freqüències i l'instant exacte de tancar l'interruptor de connexió de la màquina síncrona a la xarxa.

L'equip més simple és el sincronoscopi de làmpades i dos voltímetres.

El sincronoscopi es connecta entre els borns homòlegs de entrada i sortida de l'interruptor de connexió. Un voltímetre es connecta entre aquests mateixos borns per tal d'indicar quan la tensió és zero i l'altre en borns de la font d'alimentació que simula la xarxa per saber la tensió en la qual es troba la xarxa, ja que aquesta i la de l'alternador han de ser iguals.

Hi ha dos mètodes per connectar el sincronoscopi, el mètode de les làmpades enceses i el de les apagades. El primer consisteix en connectar les làmpades a fases diferents seguint un ordre cíclic i el segon en fase.

La maniobra de sincronització anomenada a làmpades apagades, difereix de l'anomenada a làmpades enceses, havent de tancar l'interruptor d'acoblament en els instants en els quals les làmpades assoleixin la seva màxima brillantor.

En aquest assaig, s'ha elegit el mètode de les làmpades apagades.

Aquestes làmpades, mentre la tensió de l'alternador i de la xarxa no siguin iguals i no tinguin la mateixa freqüència s'encendran i s'apagaran contínuament amb la periodicitat corresponent al desviament de la freqüència.

Regulant la intensitat d'excitació de l'alternador per igualar tensions que es mesuren amb el voltímetre connectat en borns de la xarxa i el connectat a l'alternador es regula la velocitat del motor primari que mou l'alternador en el sentit d'assolir la igualtat de freqüències. Les oscil·lacions de l'encesa de les làmpades es fan cada vegada més llargues, facilitant la maniobra de connexió que es realitza en l'instant el qual les tres làmpades estiguin apagades.

La no coincidència en el temps del parpelleig de les tres làmpades indica que la seqüència de les tensions de l'alternador i la xarxa no és la mateixa, havent de procedir abans de la sincronització, a canviar l'ordre de la seqüència de fases sobre la xarxa, o

sobre l'alternador, canviant d'ordre dos de les tres fases fins assolir aquesta coincidència.

Amb les tres condicions d'acoblament de la màquina síncrona a la xarxa assolides es procedeix a tancar l'interruptor d'acoblament.

Ja tenim la màquina síncrona acoblada a la xarxa.

Cal admetre que xarxa a la qual es connecta se l'anomena xarxa de potència infinit, ja que la potència d'un alternador en comparació és molt petita. L'efecte és que una vegada acoblat l'alternador queden fixades la tensió i la freqüència per la xarxa on està connectat.

Això simplifica el treball ja que permet acceptar com a vàlides les suposicions de que la tensió i la freqüència de la xarxa són constants i independents de les maniobres que podem fer en la màquina que s'està estudiant.

Amb la màquina síncrona acoblada a la xarxa, ara s'ha de fer treballar com a motor síncron.

Si es considera que un alternador està connectat a una xarxa de potència teòricament infinita, cedint una determinada potència activa, la variació de la intensitat d'excitació no modifica el valor d'aquesta potència, sinó únicament el de la potència reactiva.

Per fer-ho, es redueix paulatinament la potència mecànica cedida pel motor auxiliar de corrent continu a l'alternador. Conseqüentment, disminueix la potència elèctrica cedida per aquest a la xarxa, el que significa una disminució de la component activa de la intensitat.

Això no implica l'aturada de la màquina síncrona, sinó que per seguir excitada i mantenir la seva connexió a la xarxa de tensió constant continuarà girant a la velocitat de sincronisme passant a funcionar com a motor síncron en buit.

L'acoblament es realitza a tensió nominal.

Ara s'està en condicions de realitzar l'assaig, mesurant tensió, potència absorbida i intensitat en buit pel punt nominal.

Amb tot el que s'ha explicat anteriorment, a continuació es realitza un resum de com realitzar aquest assaig.

Un cop s'ha realitzat el muntatge de l'esquema 26 es procedeix:

1- Es procedeix a donar tensió a la font d'alimentació de tensió regulable amb rectificador per tal d'alimentar el motor de corrent continu. Es dona tensió fins que amb un tacòmetre s'observa que aquest ha assolit la velocitat nominal.

2- S'han de complir les tres condicions d'acoblament.

Per complir la primera condició, per obtenir la mateixa tensió es regula mitjançant la intensitat d'excitació de l'alternador i per comprovar que tenen la mateixa seqüència de fases s'observa en el sincronoscopi. Les làmpades han de produir un parpelleig que coincideixi en les tres a la vegada.

Per complir la segona condició, per obtenir la mateixa freqüència això es regula mitjançant la velocitat de gir nominal del motor de auxiliar de corrent continu.

Finalment, per complir la tercera condició, es comprova mitjançant el voltímetre connectat en borns de l'interruptor d'acoblament. Quan aquest marqui zero volts, és el moment de tancar l'interruptor per tal de realitzar l'acoblament.

3- Amb aquestes condicions assolides, és té la màquina acoblada a la xarxa. Ara es l'hora de fer-la treballar com a motor síncron.

4- Reduir la potència mecànica cedida pel motor primari en l'eix de l'alternador, es disminueix la potència elèctrica cedida a la xarxa. Això es regula disminuint paulatinament la velocitat de gir del motor auxiliar.

5- En aquestes condicions ja es té funcionant la màquina síncron com a motor en buit.

6- És l'hora de prendre les mesures de tensió, potència i intensitat que ens mostren els aparells de mesura.

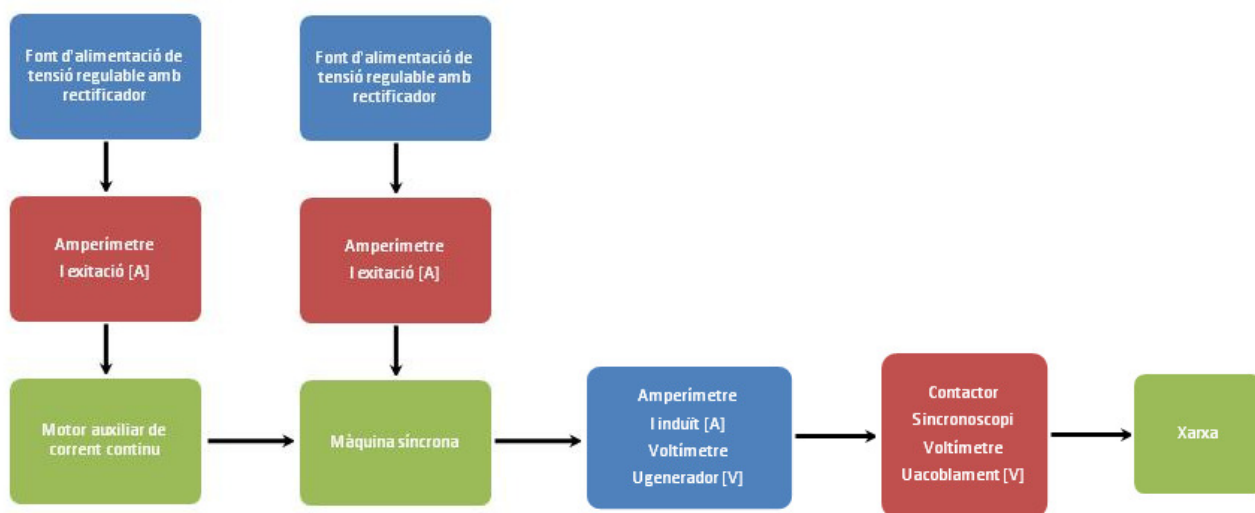


Figura 32. Diagrama de l'obtenció de pèrdues en una màquina síncrona

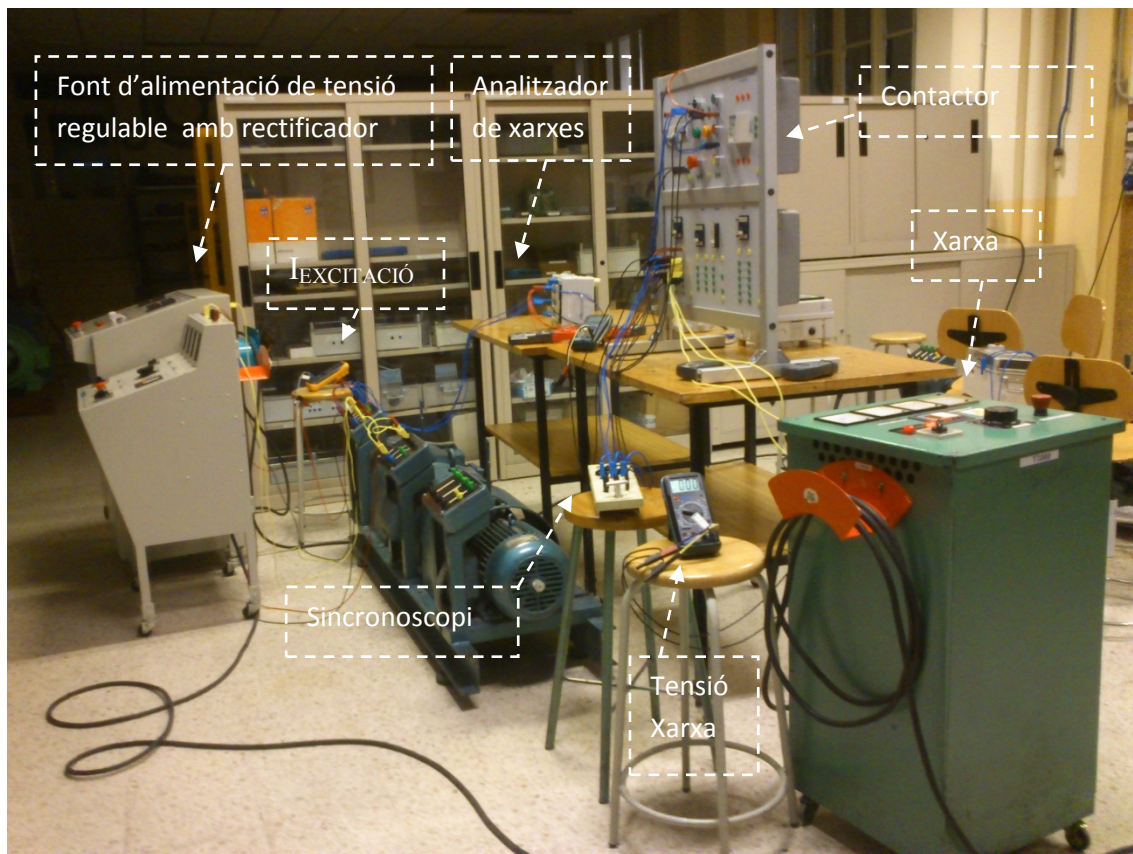


Figura 33. Obtenció de les pèrdues en una màquina síncrona

3.3.5.4 – Resultats obtinguts

Pèrdues constants

P_0 [W]	I_0 [A]	U_{NOMINAL} [V]
635	0,96	380

P_{cu0} [W]	R_F [Ω]	I_{OF} [A]
2,36	2,58	0,55

$P_{\text{fe}} + P_{\text{fw}}$ [W]
632,64

Pèrdues en càrrega

P_c [W]	R_F [Ω]	I_{NOMINAL} [A]
260,67	2,58	5,80

P_K [W]	632,64
P_C [W]	260,67
P_T [W]	893,31

Taula 81. Pèrdues totals AEG Nr 6737939

Pèrdues constants

P_0 [W]	I_0 [W]	$U_{NOMINAL}$ [V]
900	7,15	220

P_{cu0} [W]	R_F [Ω]	I_{OF} [W]
51,56	1,01	4,13

$P_{fe} + P_{fw}$ [W]
848,44

Pèrdues en càrrega

P_K [W]	848,44
P_C [W]	245,10
P_T [W]	1093,53

Taula 82. Pèrdues totals Electamolins Nr 2934/75

3.3.6 – Obtenció dels paràmetres característics d'una màquina síncrona

3.3.6.1 – Circuit equivalent d'una màquina síncrona

Sota el supòsit de que la màquina síncrona no arriba a la saturació o és el mateix admetre que la característica de buit és la convencional rectilínia, la composició vectorial de les f.m.ms s'estén, en les màquines de rotor cilíndric, als fluxos que aquestes produeixen, per quan la trajectòria del circuit magnètic de tots ells és la mateixa i la seva reluctància és constant.

Al admetre que la màquina síncrona no arriba a la saturació, el flux de l'inductor i la f.e.m. induïda per aquest en buit són proporcionals al corrent d'excitació.

Es considera que el flux útil és el resultant de la suma dels fluxos que determinen separatament la f.m.m. de l'inductor i la f.m.m. de la reacció d'induït.

Cada un d'aquests fluxos sinusoïdals i giratoris, actuant aïlladament, induiran en el debanat fix de l'estator una f.e.m. proporcional a ell i desfasada en el temps de $\frac{\pi}{2}$.

Si E_0 és la f.e.m. induïda pel flux de l'inductor, ϕ_0 , i E_i la f.e.m. induïda la fem induïda pel flux de la reacció de l'induït, ϕ_i , la seva suma vectorial dóna lloc a la f.e.m resultant E_r induïda pel flux útil resultant ϕ .

$$\phi = \phi_0 + \phi_i$$

$$E_r = E_0 + E_i$$

$$E_0 = E_r + (-E_i)$$

Com que el flux ϕ_i està en fase amb el corrent de l'induït I , la f.e.m. E_i presenta també un desfasament en retràs de $\frac{\pi}{2}$ respecte a aquesta corrent. Per aquest motiu es considera com una f.e.m. de reactància.

$$E_i = -jX_i \cdot I$$

$$E_0 = E_r + jX_i \cdot I$$

L'efecte de la reacció d'induït s'assimila al d'una reactància X_i en sèrie amb la f.e.m. Aquesta reactància s'anomena de reacció d'induït.

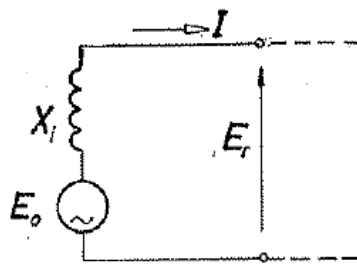


Figura 34. Circuit equivalent de la màquina síncrona assimilant l'efecte de la reacció d'induït

Substituint-t'ho en aquesta última equació per valor determinat anteriorment queda:

$$E_0 = U + R \cdot I + jX_\theta \cdot I + jX_i \cdot I = U + [R + j \cdot (X_\theta + X_i)] \cdot I$$

Equació 58. Equació per obtenir la f.e.m en una màquina síncrona

Amb tot això es dedueix que la màquina síncrona de rotor cilíndric es equivalent a un circuit constituït per una font pura de f.e.m. alterna, la tensió de la qual en valor eficaç és E_0 , en sèrie, amb la resistència R i les resistències X_θ i X_i .

Si s'engloba en una sola reactància a la suma de X_i i X_θ el circuit equivalent es redueix a un font de tensió, una resistència R i una reactància X_s .

$$X_s = X_i + X_\theta$$

Equació 59. Reactància síncrona

X_s és l'anomenada reactància síncrona no saturada. Es tracta d'una reactància de valor fix, vàlida únicament quan la màquina no està saturada o quan es considera la característica convencional de buit, és a dir, la recta de l'entreferro.

Aquesta és la suma de la reactància que simula la reacció d'induït més la reactància que simula el flux de dispersió de la màquina.

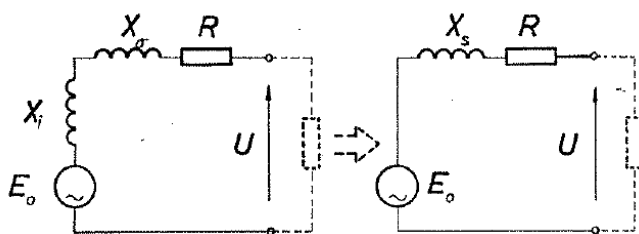


Figura 35. Circuit equivalent de la màquina síncrona

La suma de la resistència R i d'aquesta reactància X_s defineix la impedància síncrona no saturada, Z_s .

$$Z_s = R + jX_s \quad [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 60. Impedància síncrona

Aquesta impedància síncrona té en compte tots els efectes del debanat induït en càrrega, és a dir, la caiguda òhmica per la resistència pròpia dels debanats, la caiguda inductiva per dispersió de flux de l'induït i la caiguda inductiva a la que s'ha assimilat l'efecte de reacció d'induït.

A base d'aquesta impedància Z_s , l'equació 58 es veu reduïda a:

$$E_0 = U + (R + jX_s) \cdot I = U + Z_s \cdot I$$

Equació 61. Equació de la f.e.m. reduïda

amb la qual resulta summament fàcil realitzar l'estudi del funcionament en càrrega de la màquina síncrona de rotor cilíndric.

Per estudiar el comportament d'aquesta màquina és necessari determinar els paràmetres que s'inclouen en aquest circuit, E_0 i Z_s .

El valor de E_0 s'obté mitjançant un assaig en circuit obert i en aquestes circumstàncies es compleix:

$$I = 0 \rightarrow E_0 = V \text{ (circuit obert)}$$

és a dir, la f.e.m. E_0 és la tensió en els terminals de la màquina quan és nul·la el corrent de l'induït.

El càlcul de la impedància síncrona requereix una prova addicional, anomenada assaig de curtcircuit permanent.

$$V = 0 \rightarrow E_0 = (R + jX_s) \cdot I_{\text{corto}} = Z_s \cdot I_{\text{corto}}$$

d'on resulta el valor modular de la impedància síncrona:

$$Z_s = \frac{E_0}{I_{\text{curtcircuit}}} \quad [\Omega/\text{fase}]$$

és a dir, la impedància síncrona és quocient entre la tensió en circuit obert i el corrent de curtcircuit.

Cal tenir en compte que els valors de les magnituds anteriors han d'expressar-se en valor de fase.

Per excitacions petites la impedància síncrona Z_s és constant, ja que la característica de buit coincideix amb la recta de l'entreferro i dóna lloc a la denominada impedància síncrona no saturada.

Per altra banda, per reduir la mida de la màquina, es requereix que el circuit magnètic treballi en el colze de la corba de circuit obert, el comportament de la màquina utilitzant la impedància síncrona anterior, diferiria enormement del valor real en les condicions normals de funcionament.

Per evitar-ho s'acostuma a prendre la denominada impedància síncrona no saturada. Aquesta es calcula en el colze de saturació de la corba de circuit obert amb una tensió, un corrent d'excitació i corrent d'induït determinats.

La fórmula de càlcul de la impedància síncrona és la següent:

$$Z_s = \sqrt{R^2 + X_s^2} \quad [\Omega/\text{fase}]$$

Atès que aquesta resistència és tan reduïda, que la caiguda de tensió que ocasiona gairebé no assoleix el 1% de la tensió nominal. Per aquest motiu no es sol tenir en compte acceptant que la impedància síncrona és la reactància síncrona.

3.3.6.2 – Resultats obtinguts

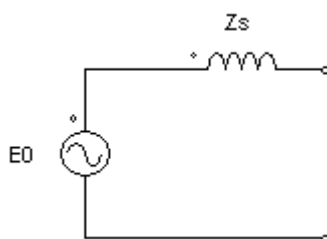
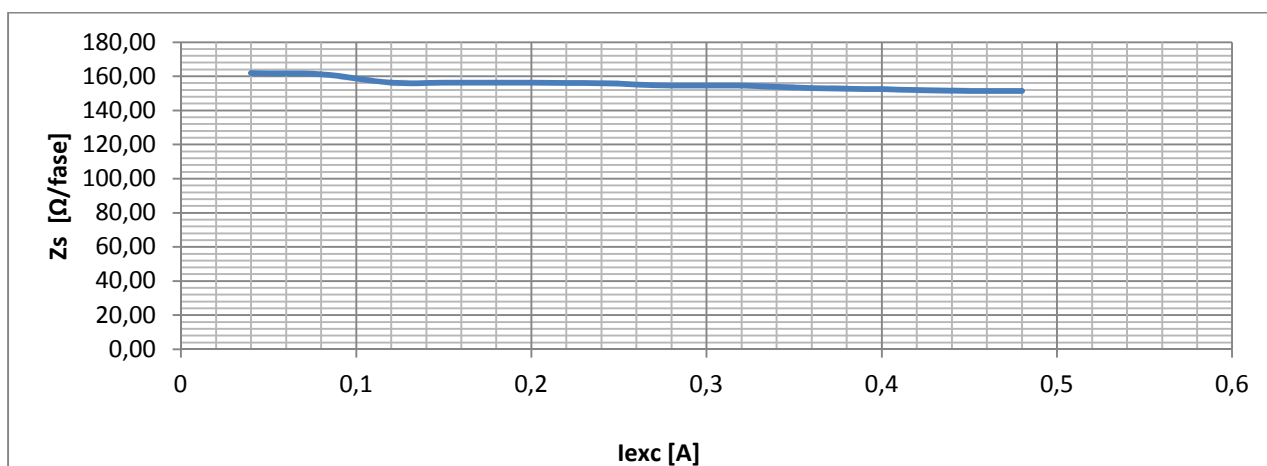


Figura 36. Representació del circuit equivalent de la màquina síncrona

I_{exc} [A]	E_0 [V]	I_{cc} [A]	Z_s [Ω /fase]
0,04	21,5	0,23	161,91
0,08	45,6	0,49	161,19
0,12	65	0,72	156,37
0,16	86,64	0,96	156,32
0,2	108,26	1,2	156,26
0,24	130,55	1,45	155,94
0,28	150,85	1,69	154,60
0,32	173,1	1,94	154,55
0,36	194,49	2,2	153,12
0,4	213,94	2,43	152,49
0,44	234,57	2,68	151,60
0,48	255,45	2,92	151,52

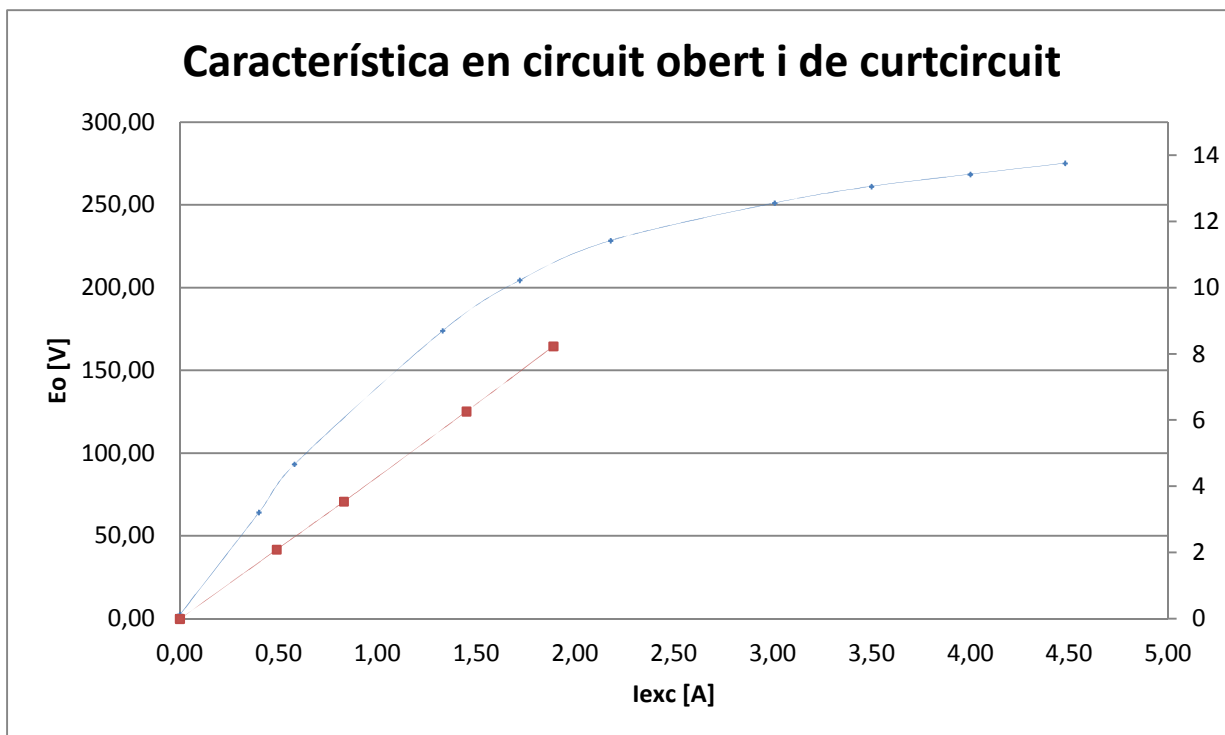
Taula 83. Impedància síncrona AEG Nr 6737939



Gràfic 27. Impedància síncrona AEG Nr 6737939

Per obtenir-ho s'ha realitzat una connexió triangle en la màquina.

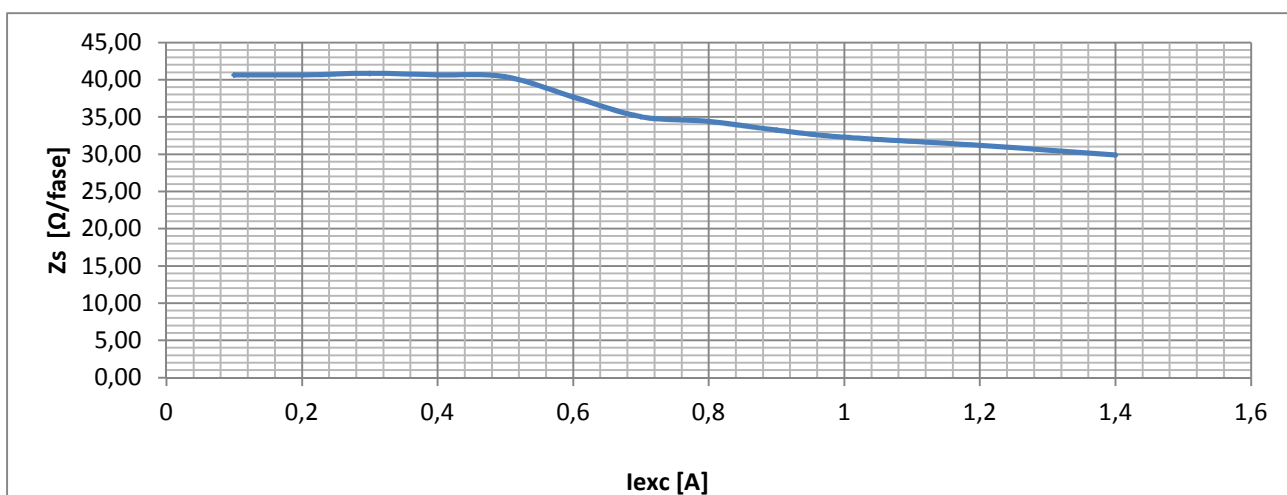
S'observa que la impedància síncrona d'aquesta màquina té un pendent molt suau.



Gràfic 28. Característica en circuit obert i de curtcircuit per la impedància síncrona AEG Nr 6737939

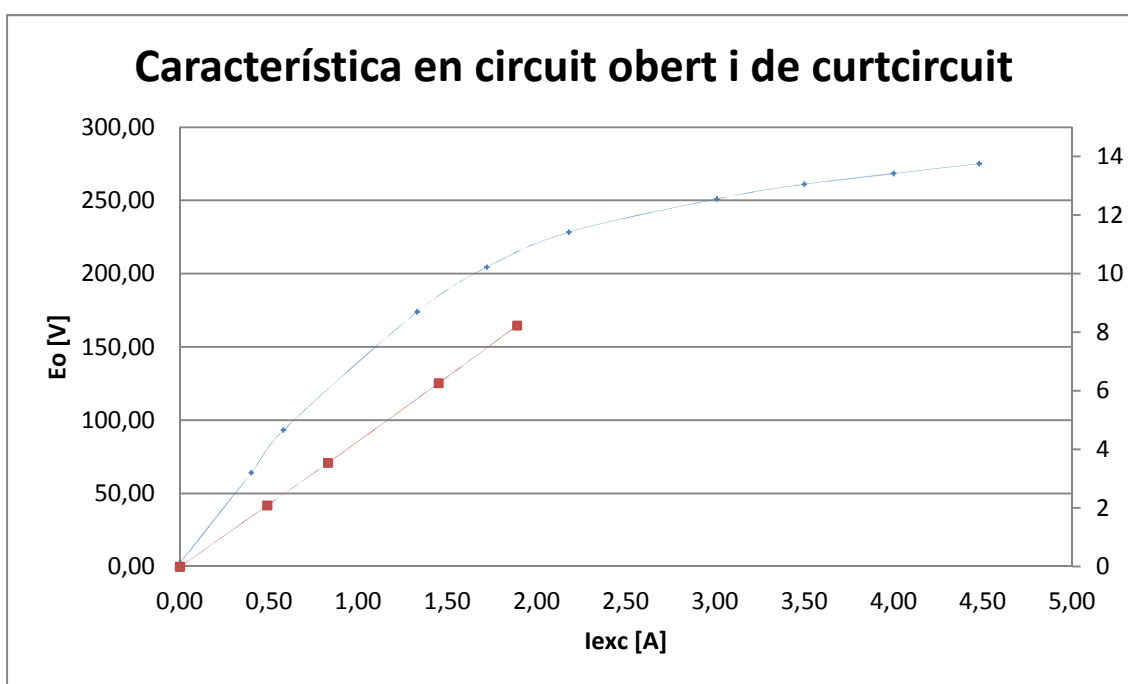
I_{exc} [A]	E_0 [V]	I_{cc} [A]	Z_s [Ω /fase]
0,1	25,35	0,36	40,66
0,2	50,71	0,72	40,66
0,3	80	1,13	40,87
0,4	111,3	1,58	40,67
0,5	140	2	40,41
0,6	163,22	2,5	37,69
0,7	182,09	3	35,04
0,8	202,14	3,39	34,43
0,9	220	3,82	33,25
1	240	4,29	32,30
1,2	279,37	5,17	31,20
1,4	310,87	6	29,91

Taula 84. Impedància síncrona Electramolins Nr 2934/75



Gràfic 29. Impedància síncrona Electramolins Nr 2934/75

Per obtenir-ho s'ha realitzat una connexió estrella en la màquina.



Gràfic 30. Característica en circuit obert i de curtcircuit per la impedància síncrona Electramolins Nr 2934/75

3.3.7 – Fulla de càlcul d'una màquina síncrona

Com en els transformadors, per tal de recollir tots els assajos realitzats en aquests tipus de màquines s'ha creat un llibre amb varies fulles de càlcul.

Cada llibre té la seva nomenclatura específica. Aquesta és la següent:

Màquina_síncrona_Nom_del_fabricant_Número de referència

En el nom de l'arxiu s'indica que pertany a les màquines síncrones estudiades juntament amb el nom del fabricant i el número de referència. Amb tot això és fa més fàcil la seva identificació.

El nombre de màquines síncrones estudiades és dos i s'ha creat un llibre Excel per a cada una.

A continuació es descriu les fulles de càlcul tipus d'un llibre Excel per a una màquina síncrona.

En totes les fulles s'indica la placa de característiques per tal de tenir sempre visible les característiques de la màquina a estudiar i també s'indica la connexió realitzada en ella ja sigui estrella o triangle.

La primera fulla de càlcul que es troba és la *Mesura de les resistències* del debanat inductor i induït.

El mètode regulat per normativa és el mètode tensió - corrent, el mateix que s'ha emprat en la mesura de les resistències dels debanats d'un transformador.

En les màquines del laboratori, atès que tenen els dos terminals de la placa de borns accessibles ja s'ha mesurat directament la resistències de fase, R_f .

Com es sap, la resistència és proporcional a la temperatura, és a dir, aquesta augmenta quan ho fa la temperatura. S'han calculat per un valor de 70° . Per obtenir aquest valor s'ha cercat pels principals fabricants de màquines i diuen que quan la màquina està treballant en les condicions nominals, aquesta és la temperatura de règim de treball i oscil·la al voltant d'aquest valor.

Per realitzar els càlculs necessaris per caracteritzar les màquines síncrones s'han emprat els valors mesurats i no els calculats a la temperatura de règim de treball ja que la màquina en la realització dels assajos no està prou estona funcionant com per assolir aquest valor de resistència.

La següent fulla de càlcul que es troba és l'*Assaig en circuit obert*. En ella s'observen les taules de dades obtingudes en l'assaig realitzat en el laboratori i la característica en circuit obert.

Al ser una màquina trifàsica, s'ha obtingut els valors de la f.e.m. induïda en buit per a cada fase. Primerament s'han d'introduir els valors obtinguts en el laboratori a la taula que té per títol introducció de dades preses en el laboratori. Aquesta combinada amb l'altra taula estan previstes per calcular la mitjana aritmètica de les tensions induïdes en buit i representar la característica en circuit obert en sentit ascendent i descendent respectivament.

Per calcula la mitjana aritmètica de les f.e.ms induïdes en buit s'ha introduït la següent expressió:

$$E_0 = \frac{E_{0RS} + E_{0ST} + E_{0TR}}{3} \quad [V]$$

Equació 62. Mitjana aritmètica de la f.e.m induïda en buit

Aquesta característica està traçada en valors p.u., ja que treballant en valors p.u. resulta més simple comparar les característiques de diferents màquines.

La pròxima fulla és la de l'*Assaig de curtcircuit*. En ella s'observen les taules de dades obtingudes en l'assaig realitzat en el laboratori i la característica de curtcircuit. Com en la fulla de càlcul anterior, s'ha curtcircuitat el debanat induït amb dos amperímetres d'escala adequada. A conseqüència es té dues intensitats de curtcircuit i per tant en quan a la realització dels càlculs es treballa amb la mitjana aritmètica d'aquestes dues.

Les dades obtingudes en l'assaig realitzat en el laboratori s'han d'introduir en la taula que té per títol introducció de dades preses en laboratori. Aquesta combinada amb l'altra taula estan previstes per calcular la mitjana aritmètica de les intensitats de curtcircuit i representar la característica de curtcircuit.

Per calcular la mitjana aritmètica de la intensitat de curtcircuit s'ha introduït la següent expressió:

$$I_{cc} = \frac{I_{ccRS} + I_{ccST}}{2} \quad [A]$$

Equació 63. Mitjana aritmètica de la intensitat de curtcircuit

La següent fulla de càlcul que es trobar és la de l'*Assaig amb factor de potència zero*. En ella es mostra les taules de dades obtingudes en l'assaig realitzat en el laboratori i la característica de reactiva.

Com en la fulla de càlcul anterior, en aquest cas s'ha mesurat la tensió en borns de la càrrega inductiva per a cada fase al igual que la intensitat de l'induït.

Les dades obtingudes en l'assaig realitzat s'han d'introduir en la taula que té per títol introducció de dades preses en el laboratori. Aquesta combinada amb l'altra taula estan

previstes per calcular la mitjana aritmètica de la tensió en borns de la càrrega i de la intensitat de l'induït i representar la característica de reactiva.

Per calcular aquestes mitjanes aritmètiques s'ha introduït les següents expressions:

$$U_{\text{borns}} = \frac{U_{\text{bornsR}} + U_{\text{bornsS}} + U_{\text{bornsT}}}{3} \quad [\text{V}]$$

Equació 64. Mitjana aritmètica de la tensió en borns de la càrrega

$$I_{\text{induït}} = \frac{I_{\text{induïtR}} + I_{\text{induïtS}} + I_{\text{induïtT}}}{3} \quad [\text{A}]$$

Equació 65. Mitjana aritmètica de la intensitat de l'induït

La pròxima fulla de càlcul és la d'*Obtenció de pèrdues*. Aquesta fa referència de manera explícita a l'apartat 3.3.5 – *Obtenció de les pèrdues d'una màquina síncrona segons normativa*.

Per una banda, es calcula les pèrdues constants o independents de la intensitat. Aquestes són la suma de les pèrdues del ferro i les pèrdues mecàniques disminuïdes per les pèrdues en el coure en l'assaig de fer rodar la màquina com a motor en buit.

$$P_{\text{Fe}} + P_{\text{fw}} = P_0 - 3 \cdot R_F \cdot I_{F0}^2 \quad [\text{W}]$$

D'altra banda es calcula les pèrdues en càrrega o dependents de la intensitat que no són més que les pèrdues per efecte Joule en el debanat de l'induït.

$$P_{\text{CÀRREGA}} = 3 \cdot R_F \cdot I_F^2 \quad [\text{W}]$$

Cal esmentar que aquestes pèrdues han estat obtingudes pel punt nominal.

Amb la suma d'aquestes pèrdues s'obté les pèrdues totals d'una màquina síncrona.

Finalment, es troba la fulla de càlcul del circuit equivalent. Aquesta fa referència a l'apartat 3.3.6.1 – *Circuit equivalent d'una màquina síncrona*.

Tal com es descriu en aquest apartat, s'ha calcula la impedància síncrona amb l'expressió següent:

$$Z_s = \frac{E_0}{I_{\text{curtcircuit}}} \quad [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 66. Fórmula de càlcul de la impedància síncrona

Aquesta s'ha obtingut per valors de fase.

Amb l'assaig en circuit obert realitzat anteriorment s'obté la f.e.m induïda en buit i es representa aquesta característica. En aquest cas, per obtenir la impedància síncrona només s'ha emprat la característica ascendent.

Per realitzar la representació del circuit equivalent, s'utilitza la reactància síncrona no saturada, que és la corresponent al colze de saturació de la corba de circuit obert.

3.4 – Assajos a realitzar en una màquina asíncrona

Amb l'aplicació de la normativa vigent, es practiquen els assajos següents en dues màquines asíncrones del laboratori.

Els assajos següents practicats en la màquina asíncrona permeten determinar els paràmetres del circuit equivalent de la màquina. De forma similar en el transformador, existeixen també dos tipus de proves del mateix estil.

3.4.1- Mesura de les resistències de l'estator

3.4.1.1 – Objectius

Amb la realització d'aquest assaig es pretén obtenir el valor de les resistències del debanat estatòric de la màquina mitjançant el mètode tensió – corrent usat com a referència en la normativa vigent. És el mateix mètode que s'utilitza per mesurar les resistències dels debanats en els transformadors.

Cal esmentar que en aquestes màquines, ja s'obté directament la resistència de fase, R_f , ja que en la placa de borns hi ha els dos borns accessibles.

3.4.1.2 – Llistat de material

El material emprat en el laboratori per dur a terme l'assaig és el següent:

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable amb rectificador
- 1 Banc de resistències regulables
 - o No interessa el valor al qual es reguli ja que té com a objectiu limitar el corrent que circuli pel circuit. Aquesta valor no regulat no afecta a les mesures de tensió i corrent.
- 1 Amperímetre en CC
- 1 Voltímetre en CC
- 1 Màquina síncrona

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori*

3.4.1.3 – Procediment d'assaig

Per tal d'obtenir el valor de la resistència, a continuació es descriu el procediment a seguir en el laboratori.

Una vegada s'ha realitzat el muntatge de l'esquema 27 es procedeix a:

- 1 – Es regula el valor de la resistència del banc de resistències regulables. No interessa el valor d'aquesta ja que la seva funció dins del circuit és únicament limitar el corrent que hi circula.
- 2 – Es procedeix a donar tensió a la font d'alimentació de tensió regulable i amb els aparells de mesura descrits anteriorment es prendran nota de les seves lectures.
- 3- Amb aquests valors, s'aplica la Llei d'Ohm per tal de saber el valor de la resistència en cada cas.

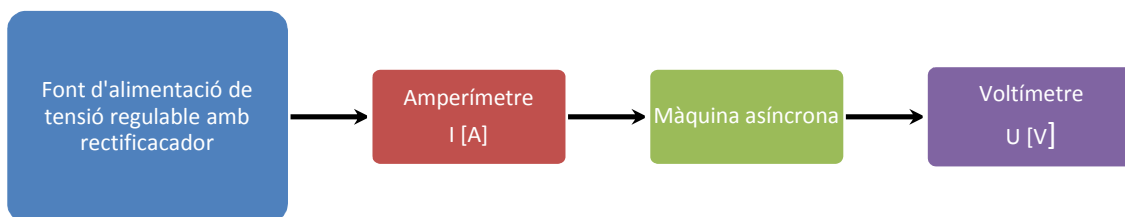


Figura 37. Diagrama de mesura de les resistències estatòriques d'una màquina asíncrona

3.4.1.4 – Resultats obtinguts

Estat	Resistència [Ω]
U ₁ U ₂	18,21
V ₁ V ₂	18,21
W ₁ W ₂	18,08

Taula 85. Mesura de les resistències estatòriques de la màquina AM80K6

Estat	Resistència [Ω]
U ₁ U ₂	13,11
V ₁ V ₂	13,08
W ₁ W ₂	13,21

Taula 86. Mesura de les resistències estatòriques de la màquina AM80N6

Per més informació observar l'annex 3.1- *Mesura de les resistències estatòriques* i les fulles de càlcul de cada màquina asíncrona.

3.4.2 – Assaig de buit o de rotor lliure

3.4.2.1 – Objectius

Aquest assaig consisteix en fer funcionar la màquina síncrona sense cap càrrega mecànica en l'eix, és a dir, la màquina treballa a rotor lliure.

Amb ell es pretén obtenir les pèrdues en buit d'una màquina asíncrona. Aquesta potència activa absorbida està composta per les pèrdues en el ferro, per les pèrdues mecàniques i per les pèrdues en el coure en el debanat estatòric de la màquina.

$$P_0 = P_{Fe} + P_{fw} + P_{cu10} \text{ [W]}$$

3.4.2.2 – Llistat de material

El material emprat en el laboratori per dur a terme l'assaig és el següent:

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable
- 2 Vatímetres per mesura la potència activa absorbida total, P_0
- 3 Amperímetres en CA per mesura I_0
- 3 Voltímetres en CA per mesurar U_0
- 1 Màquina asíncrona

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori*

3.4.2.3 – Procediment d'assaig

Un cop s'ha realitzat el muntatge de l'esquema 28 es procedeix:

- 1- Es procedeix a desacoblar el motor de qualsevol càrrega o màquina.
- 2- Mitjançant l'ajust de la font d'alimentació de tensió regulable es dóna tensió d'alimentació a la freqüència assignada fins assolir la tensió assignada del motor.
- 3- Amb la tensió assignada assolida, s'incrementa aquesta fins un 110 %. L'assaig s'ha de realitzar en ordre decreixent de tensió.
- 4- Es redueix la tensió d'alimentació paulatinament prenen mesures de potència, tensió i intensitat per a cada valor de tensió escollit fins assolir aproximadament un 20% de la tensió assignada o el valor el qual faci que una nova reducció de tensió produeix un augment de la intensitat. Com a mínim s'han de prendre nota per a deu valors d'intensitat.

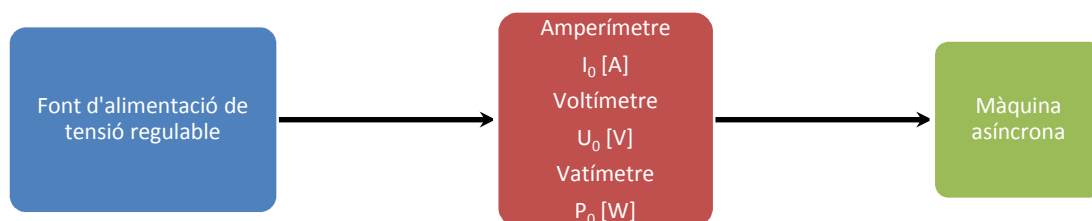


Figura 38. Diagrama de l'assaig de buit en una màquina asíncrona

3.4.2.4 – Resultats obtinguts

Rang de tensions (%)	U [V]	I ₀ [A]	P ₀ [W]	cos φ ₀	φ ₀ [°]	P _{cu0} [W]	P _{fe} + P _m [W]
110,76	243,67	1,33	260,00	0,46	62,36	96,08	163,92
105,15	231,33	1,13	205,00	0,45	63,02	69,30	135,70
100,15	220,33	1,04	180,00	0,45	63,06	59,06	120,94
97,12	213,67	0,92	155,00	0,45	62,98	46,30	108,70
91,21	200,67	0,81	129,00	0,46	62,74	35,77	93,23
83,94	184,67	0,70	103,00	0,46	62,55	26,59	76,41
77,42	170,33	0,62	86,00	0,47	61,94	20,92	65,08
70,91	156,00	0,54	72,00	0,49	60,59	16,05	55,95
63,64	140,00	0,47	57,00	0,50	59,82	11,92	45,08
55,91	123,00	0,40	45,00	0,53	57,98	8,65	36,35
50,15	110,33	0,35	37,00	0,56	56,02	6,54	30,46
41,52	91,33	0,28	27,00	0,62	51,98	4,18	22,82
36,97	81,33	0,24	23,00	0,67	48,09	3,25	19,75
30,61	67,33	0,20	17,00	0,74	42,66	2,14	14,86
24,09	53,00	0,15	14,00	0,99	7,88	1,29	12,71
19,55	43,00	0,13	11,00	1,13	-	0,93	10,07

Taula 87. Assaig de buit AM80K6

Rang de tensions (%)	U [V]	I ₀ [A]	P ₀ [W]	cos φ ₀	φ ₀ [°]	P _{cu0} [W]	P _{fe} + P _m [W]
109,55	241,00	1,72	444,00	0,62	51,76	116,38	327,62
105,76	232,67	1,56	356,09	0,57	55,57	96,23	259,86
100,76	221,67	1,37	277,79	0,53	58,03	73,57	204,22
93,33	205,33	1,14	212,81	0,53	58,32	51,15	161,66
86,36	190,00	0,98	167,64	0,52	58,73	37,96	129,68
79,55	175,00	0,86	136,33	0,52	58,56	29,29	107,04
71,97	158,33	0,74	106,31	0,53	58,27	21,41	84,90
65,30	143,67	0,64	82,22	0,51	59,07	16,28	65,94
58,64	129,00	0,55	61,71	0,50	60,11	12,11	49,60
51,67	113,67	0,47	47,21	0,51	59,57	8,83	38,38
44,55	98,00	0,39	30,51	0,46	62,75	6,07	24,44
37,73	83,00	0,32	24,07	0,52	58,81	4,12	19,95
31,97	70,33	0,27	16,19	0,49	60,44	2,86	13,33
23,33	51,33	0,19	10,41	0,61	52,53	1,46	8,95
20,00	44,00	0,16	9,94	0,82	35,26	1,01	8,93

Taula 88. Assaig de buit AM80N6

Per més informació observar l'annex 3.2- *Assaig de buit* i les fulles de càlcul de cada màquina asíncrona.

3.4.3 - Assaig de rotor bloquejat

3.4.3.1 – Objectius

Aquest assaig es realitza bloquejant el rotor impedit que giri, és a dir, la velocitat de gir és nul·la i en conseqüència el lliscament serà la unitat i la resistència de càrrega serà nul·la. Això indicia que el motor es comporta com un transformador amb el secundari en curtcircuit. Aquest assaig correspon a l'assaig de curtcircuit en els transformadors.

Amb la realització d'aquest assaig es pretén obtenir la potència activa absorbida, P_{cc} , i la tensió reduïda $U_{reduïda}$, la qual fa circular la intensitat assignada quan el rotor del motor està bloquejat.

3.4.3.2 – Llistat de material

El material emprat en el laboratori per dur a terme l'assaig és el següent:

- 1 Font d'alimentació de tensió regulable
- 2 Vatímetres per mesura la potència activa absorbida total, P
- 3 Amperímetres en CA per mesura I
- 3 Voltímetres en CA per mesurar U
- 1 Mecanisme per bloquejar el rotor
- 1 Màquina asíncrona

Per més informació sobre el material utilitzat veure l'apartat 3.5.- *Descripció del material utilitzat en el laboratori*.

3.4.3.3 – Procediment d'assaig

Un cop s'ha realitzat el muntatge de l'esquema 28 es procedeix:

- 1- Es procedeix a bloquejar el rotor de la màquina.
- 2- Es dona tensió a la font d'alimentació de tensió regulable a fi d'aplicar una tensió reduïda de freqüència assignada en borns del motor.
- 3- Es dona tensió fins assolir que pels debanats circula la intensitat assignada.
- 4- Amb la intensitat assignada circulant pels debanats, s'incrementa la tensió d'alimentació fins que es vegi circular la intensitat que sigui 1,5 vegades la intensitat assignada I_N .

5- Assolit el valor de 1,5 vegades la I_N , es disminueix paulatinament la tensió prenent mesures de potència, tensió i intensitat per a cada valor d'intensitat fins assolir el valor de 0,1 vegades el valor de la I_N incloent una lectura a la intensitat assignada.

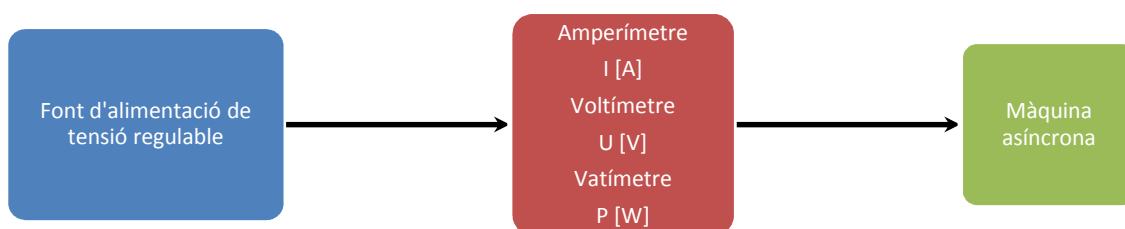


Figura 39. Diagrama de rotor bloquejat

3.4.3.4 – Resultats obtinguts

$U_{\text{reduïda}}$ [V]	$I_{\text{intensitat}}$ [A]	$P_{\text{potència}}$ [W]	Rang de intensitats (%)
94,33	1,85	402,00	145,63
87,33	1,67	340,00	131,68
80,33	1,54	286,00	121,53
76,00	1,44	258,00	113,20
66,33	1,25	196,00	98,20
60,33	1,13	163,00	89,10
55,33	1,03	136,00	81,22
48,00	0,90	130,00	70,77
37,00	0,73	69,00	57,43
27,67	0,51	36,00	40,16
18,67	0,34	17,00	26,97
12,00	0,23	4,00	17,88
3,00	0,09	2,00	6,82

Taula 89. Assaig de rotor bloquejat AM80K6

$U_{\text{reduïda}}$ [V]	$I_{\text{intensitat}}$ [A]	$P_{\text{potència}}$ [W]	Rang de intensitats (%)
102,33	2,61	629,00	1,51
97,67	2,43	566,00	1,41
89,33	2,21	473,00	1,28
80,33	1,97	380,00	1,14
69,33	1,70	278,00	0,98
62,33	1,51	226,00	0,87
55,67	1,35	182,00	0,78
48,33	1,16	137,00	0,67
39,67	0,96	92,00	0,55
33,33	0,81	67,00	0,47
26,33	0,64	43,00	0,37
18,00	0,44	20,00	0,25
14,33	0,35	5,00	0,20

Taula 90. Assaig de rotor bloquejat AM80N6

Per més informació observar l'annex 3.3- *Assaig de rotor bloquejat* i les fulles de càlcul de cada màquina asíncrona.

3.4.4 – Obtenció de pèrdues en una màquina asíncrona

3.4.4.1 – Pèrdues a considerar segons normativa

Les pèrdues totals segons normativa es consideren com la suma de les pèrdues següents:

- **Pèrdues constants o pèrdues independents de la intensitat**

Aquestes són la suma de:

- Les pèrdues en el ferro i les pèrdues suplementàries en buit en la resta de les parts metàl·liques
- Les pèrdues degudes al fregament i a la ventilació. La suma d'aquestes pèrdues constitueix les pèrdues mecàniques

Les pèrdues per fregament són linealment dependents de la velocitat n del motor i les pèrdues per ventilació depenen del cub de la velocitat n^3 .

$$P_K = P_{Fe} + P_M = P_{Fe} + P_{fw} \text{ [W]}$$

Per obtenir aquestes pèrdues s'utilitza l'expressió següent:

$$P_K = P_{Fe} + P_{fw} = P_0 - 3 \cdot R_F \cdot I_{F0}^2 \text{ [W]}$$

Equació 67. Expressió per la obtenció de les pèrdues constants en una màquina síncrona

aquestes pèrdues s'obtenen restant les pèrdues del debanat estatòric en buit de la potència d'entrada en buit.

Per determinar cada una de les pèrdues que formen les pèrdues en buit es precis completar l'assaig de buit amb mesures addicionals.

Les pèrdues en el coure P_{cu10} es calculen amb els valors de les mesures de les resistències de l'estator obtingudes en l'assaig de *Mesura de resistències*.

- **Pèrdues en càrrega o pèrdues normals dependents de la intensitat**

Aquestes corresponent a les pèrdues per efecte Joule en el debanats induït de la màquina asíncrona. En el present projecte, aquestes s'han calculat pel punt de intensitat nominal.

$$P_{CÀRREGA} = 3 \cdot R_F \cdot I_F^2 \text{ [W]}$$

Les pèrdues totals que té una màquina asíncrona són les pèrdues constants i les pèrdues en càrrega.

$$P_T = P_K + P_{CÀRREGA} \text{ [W]}$$

3.4.4.2 – Procés d'obtenció de les pèrdues en una màquina asíncrona

Amb la realització de l'assaig de buit i l'assaig de rotor bloquejat s'obtenen les pèrdues d'una màquina asíncrona.

A continuació s'explica detalladament l'obtenció de pèrdues per a cada assaig.

En *l'assaig de buit* existeix una gran diferència entre aquest assaig en el motor asíncron i el corresponent del transformador.

Cal tenir en compte que si la màquina pogués funcionar en aquesta prova a la velocitat de sincronisme, el lliscament seria nul. Això indicaria en el circuit equivalent que la resistència de càrrega R_c' es faria infinita i per conseqüència, la I_2' seria nul·la i resultaria un esquema equivalent com el d'un transformador (menyspreant les pèrdues en el coure del primari).

No obstant això, no pot girar a la velocitat de sincronisme ja que al ser nul·la I_2' no existiria cap parell electromagnètic en el seu eix.

En aquestes circumstàncies el que realment succeeix és que la resistència de càrrega R_c' té un valor molt elevat però infinit. Com que no s'exerceix cap parell de càrrega en

l'eix, la potència dissipada en aquesta resistència representa les pèrdues per fregament i ventilació del motor.

A més a més, degut a que I_2' és de baix valor degut a l'alta impedància de R_c' , es poden menysprear les pèrdues en el coure del debanat del rotor.

Per poder separar les pèrdues del ferro de les pèrdues mecàniques es segueix el següent procediment:

Amb les dades obtingues en l'assaig de buit per a cada escaló de tensió es dedueix les pèrdues $P_{fe} + P_{fw}$ per a cada etapa segons l'equació número 64.

Al representar les $P_{fe} + P_{fw}$ en funció de la tensió d'alimentació s'obté una corba de tipus parabòlic. Extrapolant aquesta corba, fins on talla amb l'eix d'ordenades s'obté per $U=0$ V, el valor de les pèrdues mecàniques P_{fw} , ja que llavors les pèrdues en el ferro són nul·les pel fet de no existir flux magnètic.

Per reduir errors en la extrapolació, és més pràctic representar $P_{fe} + P_{fw}$ en funció de la tensió d'alimentació al quadrat.

En el present projecte s'ha representat mitjançant el programa Excel la gràfica següent:

$$P_{Fe} + P_{fw} = f(U^2)$$

En aquesta gràfica s'ha traçat una línia de tendència i s'ha obtingut una equació matemàtica de tipus parabòlic.

$$ax^2 + bx + c$$

En l'eix d'abscisses hi ha la tensió. Substituint en l'equació quan aquesta és nul·la ($x=0$) s'obté les pèrdues mecàniques.

I les pèrdues en el ferro s'obtenen fent la resta de les pèrdues següents:

$$P_{Fe} = (P_{Fe} + P_{fw}) - P_{fw} \text{ [W]}$$

En l'assaig de rotor bloquejat per obtenir la potència activa absorbida es realitza el següent balanç de potències actives absorbides:

$$P_{LR} = P_u + P_{fw} + P_{Fe1} + P_{Fe2} + P_{Cu1} + P_{Cu2} \text{ [W]}$$

Equació 68. Balança de pèrdues en l'assaig de rotor bloquejat d'una màquina asíncrona

La P_u és zero ja que el motor està frenat i no dona potència.

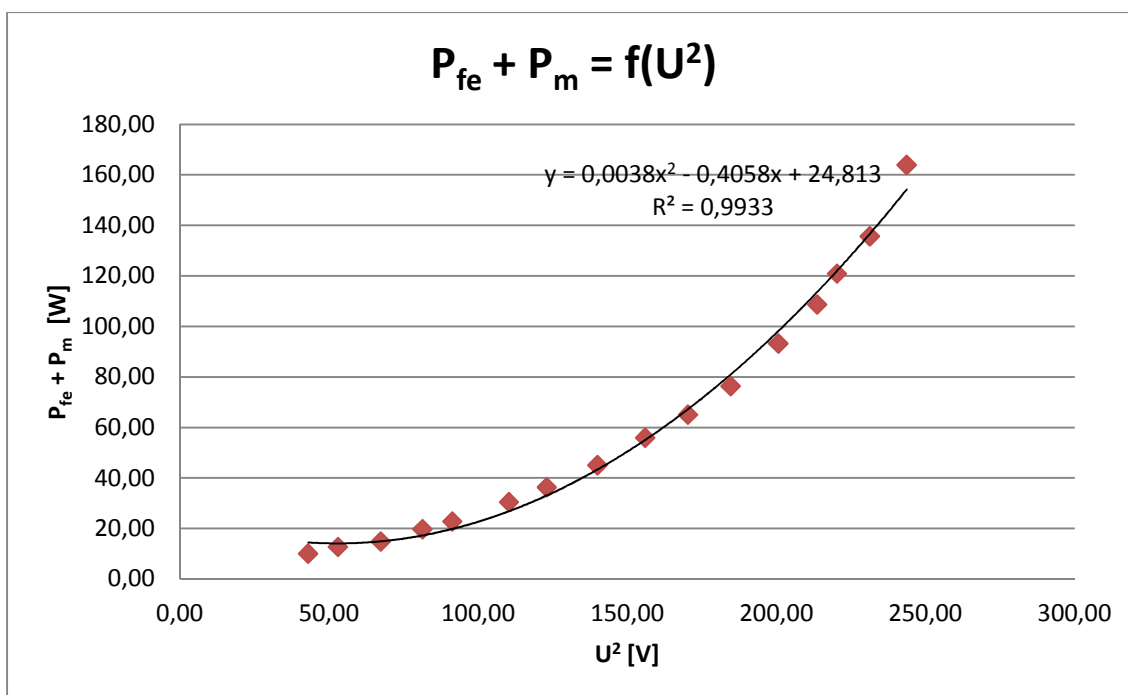
Les P_{fw} són zero degut a que el motor està frenat i per tant no té pèrdues per fregament.

Les P_{Fe2} es consideren nul·les atès que la freqüència del rotor f_2 és molt petita respecte a f_1 .

Amb aquestes simplificacions anteriors, l'equació 68 queda en:

$$P_{LR} = P_{Fe1} + P_{Cu1} + P_{Cu2} \text{ [W]}$$

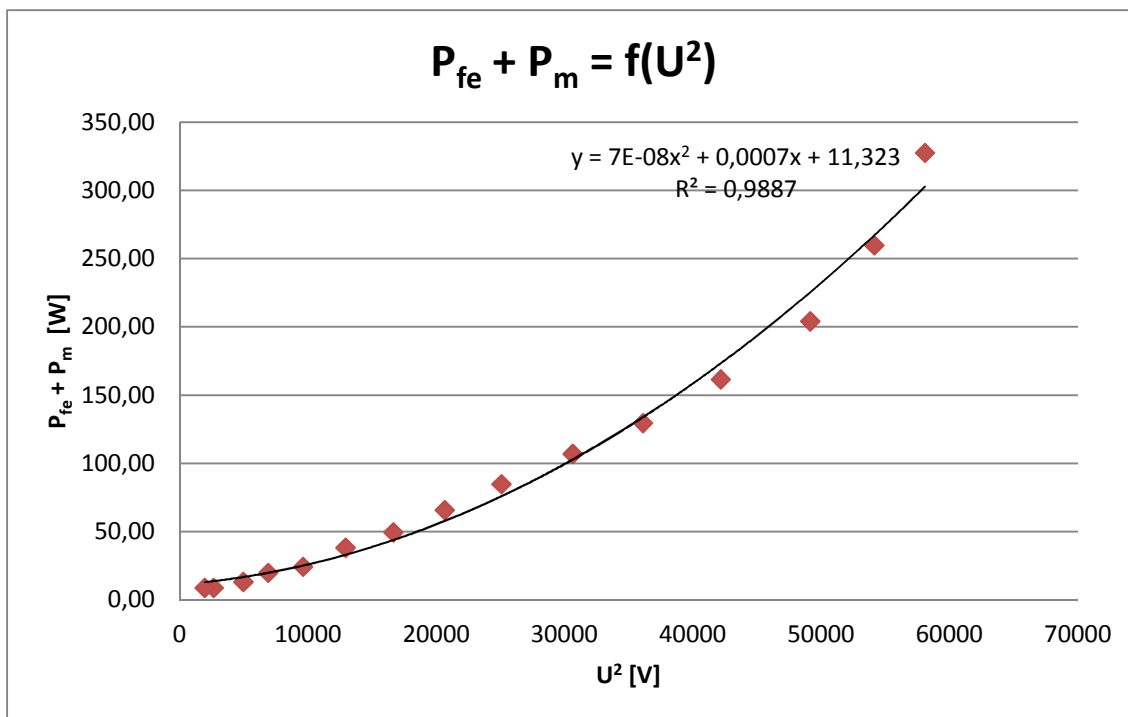
3.4.4.3 – Resultats obtinguts



Gràfic 31. Obtenció de pèrdues AM80K6

Pfe + Pfw [W]	120,94
Pfw [W]	24,81
Pfe [W]	96,12

Taula 91. Separació de pèrdues AM80K6



Gràfic 32. Obtenció de pèrdues AM80N6

Pfe+ Pfw [W]	204,22
Pfw [W]	11,32
Pfe [W]	192,90

Taula 92. Separació de pèrdues AM80N6

En ambdues corbes, cal esmentar que el coeficient que acompanya a la x^2 té un valor molt petit.

3.4.5 – Obtenció dels paràmetres característics d'una màquina asíncrona

3.4.5.1 – Circuit equivalent d'una màquina asíncrona

Amb l'objectiu de facilitar l'anàlisi d'un motor asíncron, seguint un procediment similar al utilitzat en els transformadors, generalment es substitueix el rotor de la màquina per un altre equivalent de forma que la resta de la màquina no es vegi afectada per aquest canvi.

Això significa que al substituir el rotor real per l'equivalent les magnituds de l'estator, el flux de potència a través de l'entreferro i el camp magnètic no canviaran i, per tant, el flux per pol seguirà conservant el mateix valor.

A més a més el rotor equivalent s'elegeix de forma que el seu debanat sigui idèntic al de l'estator, és a dir, que tingui el mateix nombre de fases i el mateix nombre d'espises que les de l'estator i immòbil perquè els seus corrents tinguin la mateixa freqüència f_1 que la de l'estator. Aquest rotor equivalent es denomina rotor reduït a l'estator.

Amb la combinació de l'assaig a rotor lliure i de l'assaig a rotor bloquejat s'obté els paràmetres del circuit equivalent.

Mitjançant l'assaig de rotor lliure, una vegada conegudes les P_{fe} , es calcula dels paràmetres la branca paral·lel del circuit equivalent i amb l'assaig de rotor bloquejat s'obtenen els paràmetres de la branca sèrie.

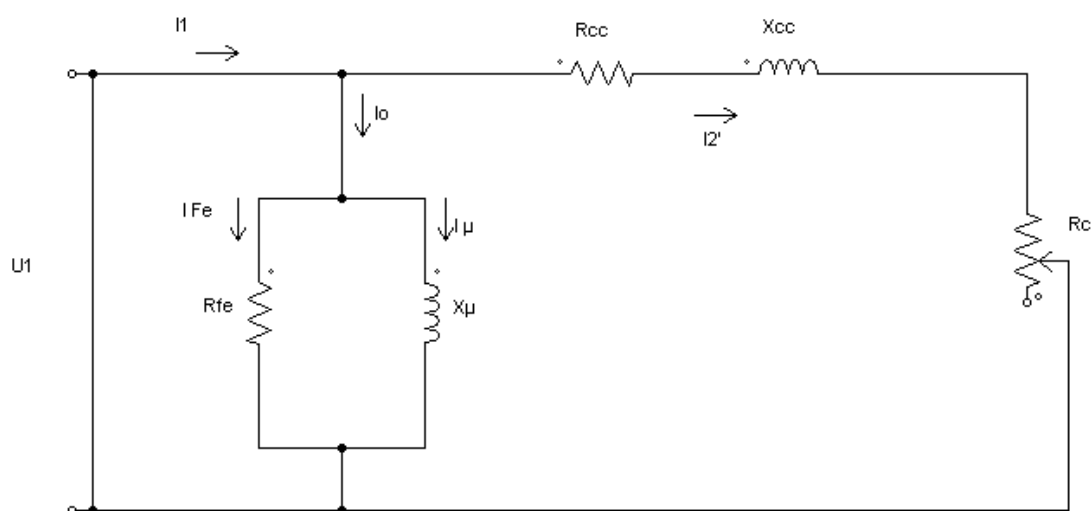


Figura 40. Circuit equivalent màquina asíncrona reduït el rotor a l'estator

A continuació s'explica detalladament les fórmules matemàtiques per la seva obtenció.

Amb l'obtenció de les P_{fe} es calcula la R_{fe} amb l'expressió següent:

$$R_{Fe} = 3 \cdot \frac{U_{2F}^2}{P_{Fe}} \text{ } [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 69. Resistència del ferro d'una màquina asíncrona

Amb l'obtenció de la R_{fe} es calcula la I_{fe} , és dir la intensitat que circula per aquesta resistència amb l'expressió següent:

$$I_{Fe} = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{3 \cdot R_{Fe}}} \quad [A]$$

Equació 70. Intensitat del ferro d'una màquina asíncrona

Amb la I_0 obtinguda en l'assaig de buit i la I_{fe} calculada amb l'expressió anterior, es calcula la intensitat magnetitzant I_μ amb la següent expressió:

$$I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_{Fe}^2} \quad [A]$$

Equació 71. Intensitat magnetitzant d'una màquina asíncrona

Amb aquesta intensitat magnetitzant obtinguda es calcula la reactància magnetitzant X_μ .

$$X_\mu = \frac{U_{1F}}{I_\mu} \quad [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 72. Reactància magnetitzant d'una màquina asíncrona

D'altra banda, mitjançant l'assaig de rotor bloquejat s'obté:

$$P_{LR} = P_u + P_{fw} + P_{Fe1} + P_{Fe2} + P_{Cu1} + P_{Cu2} \quad [W]$$

La P_u és zero ja que el motor està frenat i no dona potència.

Les P_{fw} són zero degut a que el motor està frenat i per tant no té pèrdues per fregament.

Les P_{Fe2} es consideraren nul·les atès que la freqüència del rotor f_2 és molt petita respecte a f_1 .

Amb aquestes simplificacions, l'equació número 68 queda en:

$$P_{LR} = P_{Fe1} + P_{Cu1} + P_{Cu2} \quad [W]$$

Equació 73. Pèrdues finals en l'assaig de rotor bloquejat d'una màquina asíncrona

Ja que es parteix de l'assaig de curtcircuit, aquestes P_{Fe1} no seran les de tensió nominal, sinó les de la tensió reduïda utilitzada per fer l'assaig.

Aquestes es calculen amb la següent expressió:

$$P_{FeLR} = \left(\frac{U_{reduïdaLR}}{U_N} \right)^2 \cdot P_{FeNominals} \quad [W]$$

Equació 74. Pèrdues en el ferro en l'assaig de rotor bloquejat d'una màquina asíncrona

Continuant amb l'equació 68 per acabar d'obtenir el circuit equivalent s'han de calcular les $P_{cu1} + P_{cu2}$.

Aïllant d'aquesta mateixa equació les pèrdues en el coure queda la següent expressió:

$$P_{Cu1} + P_{Cu2} = P_{LR} - P_{FeLR}$$

Sabent el valor de $P_{cu1} + P_{cu2}$ es calcula el valor de la resistència de curtcircuit R_{cc} .

$$P_{Cu1} + P_{Cu2} \approx 3 \cdot R_1 \cdot I_1^2 + 3 \cdot R'_2 \cdot I_2'^2$$

$$R_{cc} = R_1 + R'_2$$

$$P_{Cu1} + P_{Cu2} \approx 3 \cdot R_{cc} \cdot I_{LR}^2$$

$$R_{cc} = \frac{P_{Cu1} + P_{Cu2}}{3 \cdot I_{LR}^2} \quad [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 75. Resistència de curtcircuit d'una màquina asíncrona

Amb el valor de R_{cc} calculat s'obté el valor de la impedància de curtcircuit Z_{cc} mitjançant la següent expressió:

$$Z_{cc} = \frac{U_{reduïda}}{I_{LR}} \quad [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 76. Impedància de curtcircuit d'una màquina asíncrona

Posteriorment amb els valors de R_{cc} i Z_{cc} es calcula el valor de la reactància de curtcircuit X_{cc} .

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} \quad [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 77. Reactància de curtcircuit d'una màquina asíncrona

Finalment l'últim paràmetre a calcular és la resistència de càrrega R_c .

$$R'_c = R'_2 \cdot \left(\frac{1}{s} - 1 \right) \quad [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 78. Resistència de càrrega d'una màquina asíncrona

Aquesta no es pot calcular ja que depèn del lliscament però si que es pot calcular R_2' .

$$R_2' = R_{cc} - R_1 \text{ } [\Omega/\text{fase}]$$

Equació 79. Càlcul de R_2' dependent de la resistència de càrrega

on R_1 és el valor de la resistència de l'estator mesurat en l'assaig de mesura de resistències.

3.4.5.2 – Resultats obtinguts

La representació gràfica dels circuits equivalents dels transformadors es realitza segons la figura 40.

I_0 [A]	1,04
P_{fe} NOMINALS [W]	96,12
P_{LR} NOMINALS [W]	196,00

$U_{reduïda LR}$ [V]	66,33
I_{LR} [A]	1,25
R_1	18,16

Taula de resultats obtinguts	
Paràmetre	
R_{Fe} [Ω/fase]	1510,57
I_{Fe} [A]	0,15
I_μ [A]	1,03
X_μ [Ω/fase]	213,40
P_{FeLR} [W]	8,74
$P_{LOCKED ROTOR}$ [W]	187,26
R_{cc} [Ω/fase]	39,95
Z_{cc} [Ω/fase]	53,07
X_{cc} [Ω/fase]	34,93
R_2' [Ω/fase]	21,79

Taula 93. Circuit equivalent de AM80K6

I_0 [A]	1,37
P_{fe} NOMINALS [W]	192,90
P_{LR} NOMINALS [W]	278,00

$U_{reduida LR}$ [V]	69,33
I_{LR} [A]	1,7
R_1	13,13

Taula de resultats obtinguts	
Paràmetre	
R_{Fe} [Ω /fase]	752,73
I_{Fe} [A]	0,29
I_{μ} [A]	1,33
X_{μ} [Ω /fase]	164,82
P_{FeLR} [W]	19,16
$P_{LOCKED ROTOR}$ [W]	258,84
R_{cc} [Ω /fase]	29,85
Z_{cc} [Ω /fase]	40,78
X_{cc} [Ω /fase]	27,79
R_2' [Ω /fase]	16,72

Taula 94. Circuit equivalent de AM80N6

3.4.6 – Fulla de càlcul d'una màquina asíncrona

Com en tots els tipus de màquines assajades en aquest projecte, per tal de recollir tots els assajos realitzats en aquest tipus de màquines, s'ha creat un llibre amb varies fulles de càlcul.

Cada llibre té la seva nomenclatura específica. Per aquestes màquines és la següent:

Màquina_àsincona_Nom_del_fabricant_Número de referència

En el nom de l'arxiu s'indica que pertany a les màquines asíncrones estudiades, juntament amb el nom del fabricant i el número de referència. Amb tot això és fa més fàcil la seva identificació.

El nombre de màquines asíncrones estudiades és de dos i s'ha creat un llibre Excel per a cada una.

A continuació es descriu les fulles de càlcul tipus d'un llibre Excel per a una màquina asíncrona.

Com en les màquines síncrones, també es mostra la placa de característiques en totes les fulles de càlcul i la connexió realitzada en la màquina.

La primera fulla de càlcul es troba la *Mesura de les resistències* del debanat estatòric de la màquina.

Atès que les màquines del laboratori tenen accessibles els dos terminals de la placa de borns, es mesura directament la resistència de fase R_f .

El mètode regulat per normativa és el mètode tensió - corrent, el mateix que s'ha emprat en la mesura de les resistències dels debanats d'un transformador i d'una màquina síncrona.

Al ser la resistència proporcional a la temperatura, quan una augmenta l'altra també ho fa. S'han calculat també per un valor de 70° pel mateix motiu que s'indica en les màquines síncrones.

Per realitzar els càlculs necessaris per caracteritzar les màquines asíncrones s'han emprat els valors mesurats i no els calculats a la temperatura de règim de treball ja que la màquina en la realització dels assajos no està prou estona funcionant com per assolir aquest valor de resistència, és a dir, aquesta temperatura.

La següent fulla de càlcul que es troba és l'*Assaig de buit*. Al ser una màquina trifàsica, s'ha obtingut els valors de tensió i intensitat per a cada fase. La potència en buit només s'ha obtingut el valor conjunt tot i que si es desitja es pot obtenir per a cada fase.

Primerament s'han d'introduir els valors obtinguts en el laboratori en la taula que té per títol introducció de dades obtingudes en el laboratori. Aquesta combinada amb l'altra taula estan previstes per calcular la mitjana aritmètica de la tensió i de la intensitat en buit.

$$U = \frac{U_R + U_S + U_T}{3} \quad [V]$$

Equació 80. Mitjana aritmètica de la tensió aplicada en un assaig de buit d'una màquina asíncrona

$$I_0 = \frac{I_{0R} + I_{0S} + I_{0T}}{3} \quad [A]$$

Equació 81. Mitjana aritmètica de la intensitat de buit d'un assaig de buit d'una màquina asíncrona

D'altra banda, per calcular les P_{cu10} es troba una taula on es mostra el valor de les resistències estatòriques i aquesta combinada amb la mitjana aritmètica del la intensitat de buit es calculen aquestes pèrdues amb la següent expressió:

$$P_{Cu0} = R_{UX} \cdot \overline{I_0^2} + R_{VY} \cdot \overline{I_0^2} + R_{WZ} \cdot \overline{I_0^2} \quad [W]$$

Equació 82. Pèrdues en el coure en l'assaig de buit d'una màquina asíncrona

Aquestes es calculen per fase i després es sumen en la taula general.

Com s'ha explicat anteriorment, per obtenir el valor de $P_{fe} + P_{fw}$ s'ha d'introduir la següent expressió:

$$P_{Fe} + P_{fw} = P_0 - 3 \cdot R_F \cdot I_{F0}^2 \quad [W]$$

Quan ja es té el valor de la suma de les $P_{fe} + P_{fw}$ és traces dues gràfiques una en funció de la U i l'altra en funció de la U^2 .

També es representa l'evolució de $\cos \phi$ en funció de la tensió U .

La pròxima fulla de càlcul que es troba és l'*Assaig de rotor bloquejat*. En ell s'ha obtingut també el valor de la tensió reduïda i la intensitat circulant per a cada fase. Com en l'assaig de buit, la potència també s'ha obtingut el valor conjunt però si es desitja es pot obtenir per a cada fase.

Primer de tot, s'han d'introduir els valors obtinguts en el laboratori en la taula que té per títol introducció de dades obtingudes en el laboratori. Aquesta taula juntament amb l'altra estan previstes per calcula la mitjana aritmètica de la tensió reduïda $U_{reduïda}$ i $I_{intensitat}$.

Amb les expressions següents es calcula la mitjana aritmètica d'aquests paràmetres:

$$U_{reduïda} = \frac{U_{reduïdaR} + U_{reduïdaS} + U_{reduïdaT}}{3} \quad [V]$$

Equació 83. Mitjana aritmètica de la tensió reduïda aplicada en un assaig de rotor bloquejat

$$I_{intensitat} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad [A]$$

Equació 84. Mitjana aritmètica de la intensitat de l'assaig de rotor bloquejat

En aquesta, es tracen les gràfiques següents:

- $I=f(U)$
- $P=f(U)$

Amb elles s'observa com evolucionen aquests paràmetres en funció de la tensió aplicada.

La següent fulla de càlcul és el *Circuit equivalent*. Aquest fa referència de manera explícita a l'apartat 3.4.5.1 – *Circuit equivalent d'una màquina asíncrona*.

Finalment l'última fulla de càlcul que es troba és l'*Obtenció de les pèrdues*. Aquesta fa referència de manera explícita a l'apartat 3.4.4.2 – *Procés d'obtenció de les pèrdues en una màquina asíncrona*.

3.5 – Descripció del material utilitzat en el laboratori

3.5.1 – Aparells de mesura

En els aparells de mesura utilitzats en la realització de tots els assajos es distingeix entre:

- Amperímetre

Un amperímetre és un instrument que serveix per mesurar la intensitat del corrent que circula per un circuit elèctric. Aquest pot mesurar tan corrent altern com corrent continu. Aquest es col·loca intercalat en el circuit en el qual es vol mesura la intensitat del corrent, és a dir, es col·loca en sèrie. En el cas del laboratori és un amperímetre digital



Figura 41. Amperímetre

- Voltímetre

Un voltímetre és un instrument que serveix per mesurar la diferència de potencial entre dos punts d'un circuit elèctric. Aquest es pot calibrar de manera que pot mesurar tensió en corrent altern i en corrent continu. Per efectuar la mesura de la diferència de potencial aquest s'ha de col·locar en paral·lel, és a dir, en derivació sobre els punts els quals es vol efectuar la mesura. En el cas del laboratori és un voltímetre digital.



Figura 42. Voltímetre

- Pinça amperimètrica

Una pinça amperimètrica és un tipus especial d'amperímetre que permet solucionar l'inconvenient d'haver d'obrir el circuit en el qual es vol realitzar la mesura del corrent per col·locar un amperímetre clàssic.

El funcionament de la pinça es basa amb la mesura directa del corrent circulant per un conductor a partir del camp magnètic. Rep el nom de pinça perquè consta d'un sensor, en forma de pinça, que s'obra i abraça el cable el corrent del qual es vol mesurar.

Cal esmentar que les pinces que hi ha en el laboratori només mesuren intensitat de corrent altern.

Aquestes pinces també es poden emprar com a voltímetre.



Figura 43. Pincas amperimètriques

- Vatímetre

Un vatímetre és un dispositiu que serveix per mesurar la potència activa d'un circuit.

Per mesurar la potència en un circuit monofàsic, només en fa falta un. En canvi per mesurar la potència d'un circuit trifàsic se'n necessita dos i connectats amb la connexió Aron o mesurar-ho amb un analitzador de xarxes.

En el transcurs dels assajos s'ha utilitzat els següents vatímetres digitals:



Figura 44. Vatímetre digital

Aquest és un vatímetre monofàsic. Aquest s'ha utilitzat en els assajos del transformador monofàsic.



Figura 45. Analitzador de xarxes incorporat a la font d'alimentació

Aquest és un analitzador de xarxes trifàsic incorporat a la font d'alimentació. Aquest s'ha emprat per obtenir les mesures de potència en els assajos de màquines trifàsiques (transformadors trifàsics, màquines síncrones i asíncrones)

- Termòmetre

Un termòmetre és un instrument de mesura de la temperatura. Aquest és emprat únicament en l'assaig d'escalfament dels transformadors.



Figura 46. Termòmetre

- Tacòmetre

Un tacòmetre es un dispositiu que serveix per mesurar la velocitat de gir d'un eix, normalment la velocitat de gir d'un motor. Aquesta es mesura en revolucions per min, [rpm].

El tacòmetre emprat en el laboratori és un tacòmetre digital. Aquest obté més precisió que un analògic.

Aquest s'utilitza en tots els assajos de les màquines síncrones per mesura la velocitat de gir de l'acoblament motor – generador.



Figura 47. Tacòmetre digital

- Analitzador de xarxes

Un analitzador de xarxes és un dispositiu que permet supervisar el tràfic de la xarxa, és a dir, captura la informació que circula per la xarxa.

Un analitzador de xarxes pot mesurar potència activa, reactiva, aparent i la tensió i la intensitat.

Aquest s'ha utilitzat en l'assaig d'obtenció de pèrdues de la màquina síncrona.

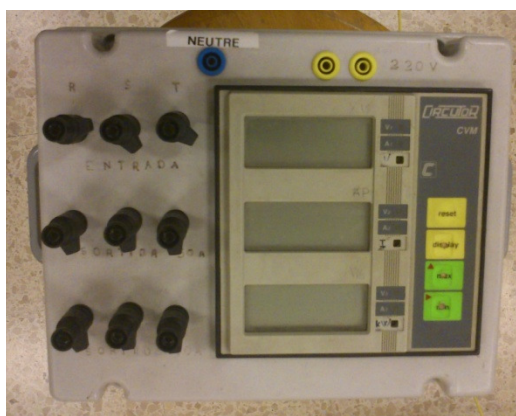


Figura 48. Analitzador de xarxes

3.5.2 - Maquinària i dispositius restants

- Font d'alimentació de tensió regulable i font d'alimentació de tensió regulable amb rectificador

Té la missió de donar tensió al circuit elèctric. En el transcurs dels assajos d'aquest projecte es distingeixen dos tipus de fonts d'alimentació diferents.

La font de tensió regulable és l'encarregada de donar tensió en corrent altern al circuit elèctric. En canvi, la font de tensió regulable amb rectificador, al incorporar aquest rectificador, és l'encarregada de subministrar tensió en corrent continu al circuit elèctric. En totes les fonts que hi ha en el laboratori, mitjançant un selector poden subministrar tensió en corrent altern o en corrent continu com es desitgi.



Figura 49. Fonts d'alimentació

- Banc de resistències regulables

Un banc de resistències és un conjunt d'elements resistius (resistències) disposats en sèrie, paral·lel o una combinació d'ambdós.

Aquest s'utilitza en tots els assajos de mesura de resistències que utilitza el mètode tensió – corrent.



Figura 50. Banc de resistències regulables

- Banc d'inductàncies

El banc d'inductàncies permet dur a terme la realització de l'assaig amb factor de potència zero ja que es necessita que per l'induït de la màquina circuli una intensitat purament inductiva.

La seva funció dins del circuit elèctric és fer circular una intensitat purament inductiva quan es connecta aquesta en borns d'un generador síncron.



Figura 51. Bateria d'inductàncies

- Contactor

És el sistema mitjançant el qual permet acoblar dues màquines o una màquina amb la xarxa tan sols amb la pulsació d'un botó d'engegada. Aquest sistema s'utilitza en l'assaig d'obtenció de pèrdues d'una màquina asíncrona.

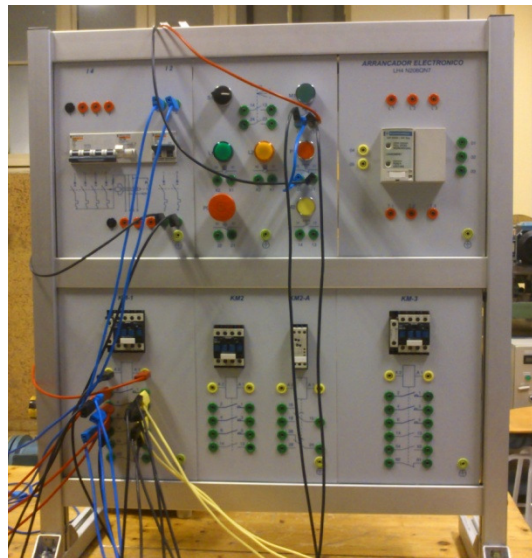


Figura 52. Contactor

- Sincronoscopi

El sincronoscopi és un instrument destinat a indicar quan dues tensions alternes o dos sistemes polifàsics alterns tenen la mateixa freqüència i estan en fase.

Aquest s'utilitza en l'assaig d'obtenció de pèrdues de la màquina síncrona.

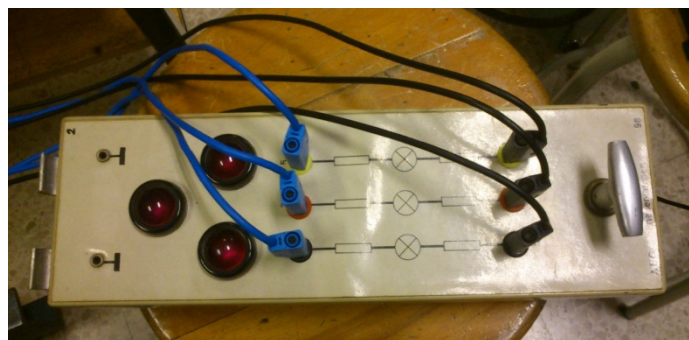


Figura 53. Sincronoscopi

- Transformador

Un transformador és un aparell estàtic, amb dos debanats o més, que per inducció electromagnètica transforma un sistema de tensió i corrent alterna en un altre sistema de tensió i corrent alterna, de la mateixa freqüència, generalment de valors diferents, amb la finalitat de transmetre potència elèctrica.



Figura 54. Transformador monofàsic

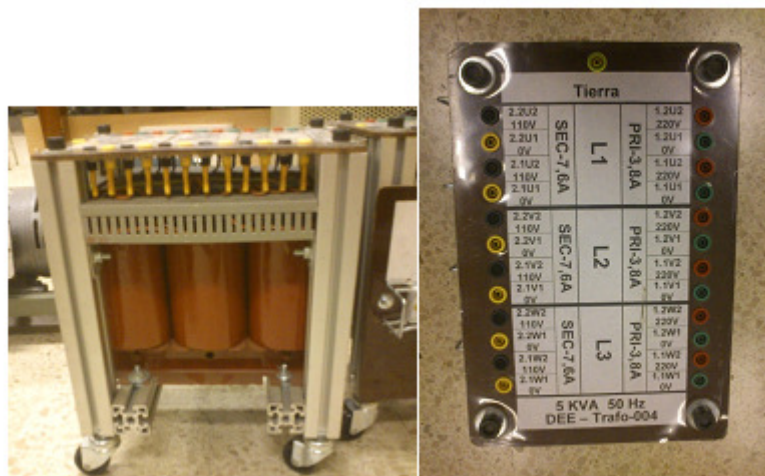


Figura 55. Transformador trifásic

- Màquina síncrona

Les màquines síncrones, com qualsevol altre convertidor electromecànic estan sotmeses al principi de reciprocitat electromagnètica, podent funcionar tant en règim generador com en règim motor. No obstant això, en la pràctica de les instal·lacions elèctriques és més freqüent el seu ús com a generador per a produir energia elèctrica de corrent alterna (alternadors) en les centrals elèctriques a partir de fonts primàries d'energia hidràulica, tèrmica o nuclear.

Les màquines síncrones són màquines elèctriques la velocitat de rotació de les quals està vinculada rigidament amb la freqüència f de la xarxa de corrent alterna amb la qual treballa,.

Una màquina síncrona funcionant com a generador transforma l'energia mecànica que rep en el seu eix en energia elèctrica de corrent altern.

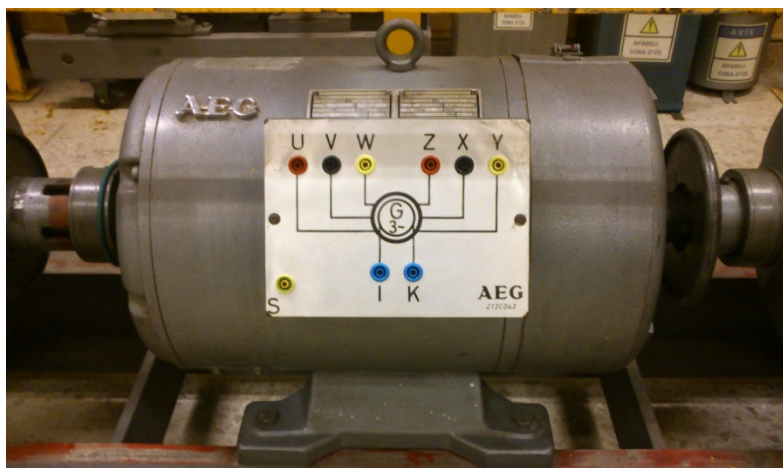


Figura 56. Màquina síncrona AEG Nr 6737939

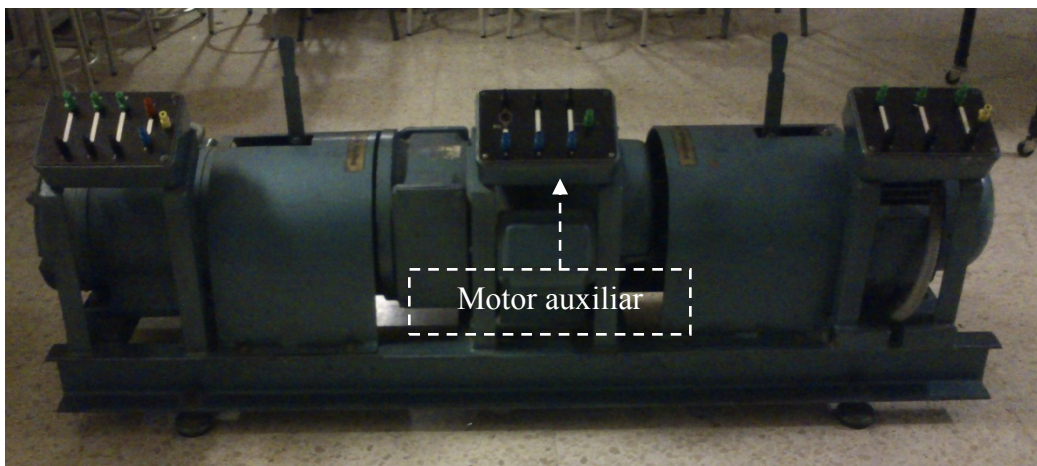


Figura 57. Bancada Electramolins Nr 2934/75

- Motor auxiliar de corrent continu

Per tal de fer funcionar una màquina síncrona com a generador, es necessita l'aportació d'energia mecànica externa. L'encarregat de donar aquesta energia mecànica serà un motor de corrent continu.

En la màquina síncrona AEG el motor auxiliar és el següent:



Figura 58. Motor auxiliar AEG Nr 6737939

En la bancada Electramolins Nr 2934/75 el motor auxiliar va incorporat en la pròpia bancada. Aquest ja s'indica en la fotografia de la màquina.

- Màquina asíncrona

Un motor asíncron és un tipus de motor de corrent alterna que transforma l'energia elèctrica absorbida de la xarxa en energia mecànica.

Aquesta està format per un rotor que pot ser de dos tipus: de gàbia d'esquirol o en curtcircuit i rotor bobinat o amb anells. Aquestes bobines són trifàsiques i estan desfasades 120° en l'espai.

Quan per aquestes bobines circula un sistema de corrents trifàsiques equilibrades el desfasament del qual és 120° , s'indueix un camp magnètic giratori que envolta el rotor. Aquest camp magnètic induirà tensió en el rotor.

Aquest tipus de màquines poden funcionar com a motor o com a generador, tot i que és més freqüent el seu ús com a motor. En aquest projecte s'han fet treballar com a tal.



Figura 59. Màquina asíncrona

CAPÍTOL 4: SEGURETAT

4.1 – Introducció

El fet que l'energia elèctrica sigui en els nostres dies l'energia més utilitzada tant en la indústria com en els usos domèstics, i la seva difícil detecció mitjançant els sentits (ja que només es detecta quan existeix perill) fa que les persones caiguin en una certa despreocupació i falta de prevenció en el seu ús.

El risc elèctric pot produir danys sobre les persones (contracció muscular, parada cardíaca i respiratòria, cremades, etc) i sobre les coses (incendis i explosions).

Considerant que l'energia elèctrica és el suport bàsic sobre el qual assentem qualsevol activitat de la nostra civilització, es pot utilitzar el consum d'electricitat com a indicador del grau de riquesa d'un país així com el seu grau de desenvolupament.

També es pot assegurar que degut a una massiva utilització, es troba en la majoria d'activitats, siguin del tipus que siguin (industrials, agrícoles, mineres, comercials i de serveis) algun tipus d'instal·lació elèctrica consumidora d'aquest tipus d'energia.

Aquestes instal·lacions elèctriques han de ser:

- Projectades
- Construïdes
- Utilitzades
- Mantingudes

Tot això realitzat per personal especialitzat.

Es pot afirmar que el sector elèctric, o millor dit el col·lectiu sotmès als riscos elèctric és enorme.

Les formes d'exposició al risc o accident elèctric poden afectar de maneres diferents:

- Directa: qualsevol treballador del sector elèctric
- Indirecta: qualsevol persona que utilitzi o manipuli mecanismes elèctrics.

Com ja s'ha mencionat anteriorment, el perill del corrent elèctric s'incrementa des del moment en el qual no es normalment perceptible pels sentits:

- Olfacte: el corrent elèctric no té olor característica. Només l'ozó que produeix l'arc elèctric es perceptible per l'olfacte.
- Oïda: normalment imperceptible en el llindar humà.
- Vista: un conductor amb tensió no es distingeix d'un conductor amb tensió a simple vista.

Per tant es pot assegurar que en tota activitat humana tenim:



Figura 60. Diagrama de blocs treball – perill - accident

4.2 – L'accident elèctric

Es defineix accident elèctric com el resultat d'un risc elèctric que no ha estat suficientment controlat.

Com a conseqüència s'ha de prendre mesures i aquestes seran de dos tipus:

- Mesures preventives: minimitzen el perill
- Mesures de protecció: minimitzen la conseqüència, és a dir, el resultat d'aquest perill.

Qualsevol tipus d'accident elèctric comporta una transformació d'una gran quantitat d'aquest tipus d'energia. Amb això es classifiquen els accidents en els següents tipus:

- Accidents directes
Afecten directament sobre la persona. Aquests poden ser:
 - Acoblament directe
 - Radiació electromagnètica

- Accidents indirectes: són produïts de forma indirecta desencadenant un procés que donarà lloc a un altre tipus d'accident d'una altra naturalesa.
 - o Calor
 - o Radiació
 - o Reacció química
 - o Mecànica

A continuació s'explica detalladament cada tipus d'accident.

Accidents directes

La persona rep energia elèctrica directament per:

- Acoblament elèctric
 - o Conductiu: és la descàrrega o xoc elèctric.
 - o Capacitiu: és l'acció del camp elèctric. Es d'interès en corrent continu d'alta tensió.
 - o Inductiu: és l'acció del camp magnètic. Es d'interès en corrent altern d'alta freqüència i tensió.

En aquest tipus d'accidents el més freqüent és l'acoblament elèctric conductiu.

Els seus efectes són els següents:

- Immediats
 - o Tèrmics
 - Cremades per contacte
 - Cremades per arc
 - o Nerviosos
 - Rampes
 - Contraccions fibril·lars
 - Tetanització de músculs nerviosos
 - Fibril·lació ventricular
 - Inhibició de centres nerviosos
- Retardats
 - o Precoç
 - Sistema cerebral
 - Sistema motor
 - Sistema circulatori (gangrenes)
 - Sistema renal
 - o Tardà
 - Neuròtics
 - Trastorn mental

Accidents indirectes

La persona rep altres formes d'energia com a conseqüència del corrent elèctric.

- Calor

Per efecte de:

- Explosió
- Incendi

- Radiació

Per efecte de:

- L'arc elèctric
 - Cremades
 - Ceguera

- Reacció química

Per efecte de:

- Combustió de materials plàstics (aïllants...)

- Mecànica

Per efecte de:

- Caigudes
- Cops
- Talls

Per evitar els accidents elèctrics es necessari prendre mesures preventives per a protegir els riscos que presenta l'ús de l'energia elèctrica.

Aquestes mesures s'han de prendre en totes i cadascuna de les fases del desenvolupament i vida útil d'una instal·lació elèctrica, aquestes mesures són:

- Enginyeria bàsica
 - Criteris de disseny
 - Descripció funcional
- Enginyeria de detall:
 - Reglamentació legal
 - Normativa de l'administració
 - Normativa de la companyia subministradora
 - Normes

- Directives comunitàries
- Normes UNE
- Publicacions CEI
- Especificacions tècniques dels equips elèctrics
- Especificacions de compra dels equips elèctrics
- Muntatge i posta en funcionament
 - Instruccions del muntatge i de la posta en funcionament
- Operació
 - Manual d'instruccions d'operació
- Manteniment
 - Avaries: manteniment correctiu
 - Revisions programades
 - Manteniment preventiu
 - Manteniment predictiu
 - Millores: reformes de la instal·lació
- Formació continua
 - Tècnica
 - Seguretat
 - Higiene

En el laboratori de Màquines Elèctriques de l'Escola on s'han realitzat els assajos d'aquest projecte, és també l'accident més comú que s'hi pot donar lloc. En relació amb això, a continuació s'explica aquest tipus d'accident detalladament.

Hi ha tres possibilitat de que es produeixi un accident elèctric conductiu. Aquestes són:

- Contacte directe
- Contacte indirecte
- Encebat (Arc elèctric)

Segons el que s'indica en el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (REBT) un contacte directe són els contactes de persones amb les parts actives dels materials o equips.

Es defineix com a contacte indirecte els contactes de persones amb masses posades accidentalment en tensió.

L'encebat és el règim variable durant el qual s'estableix l'arc o la guspira elèctrica.

Es considera conductors actius de tota la instal·lació els destinats normalment a la transmissió de l'energia elèctrica. Aquesta consideració s'aplica als conductors de fase i al conductor neutre en corrent alterna i als conductors polars i al compensador de corrent continu.

La massa és el conjunt de les parts metàl·liques d'un aparell que en condicions normals estan aïllades de les parts actives.

4.3 – El contacte elèctric

Per definició per que existeix risc elèctric per acoblament elèctric conductiu s'ha de sotmetre el cos humà a una diferència de potencial amb el conseqüent xoc elèctric produït pel pas de corrent pel cos humà.

Per altra banda, per a que existeixi corrent elèctric es necessari que existeixi tres condicions:

- 1- Contacte de dos punts del cos amb elements conductors.
- 2- Una diferència de potencial entre els dos punts del cos
- 3- Un circuit tancat, total.

A continuació es mostra un exemple gràfic on s'observa el que s'entén per contacte elèctric.

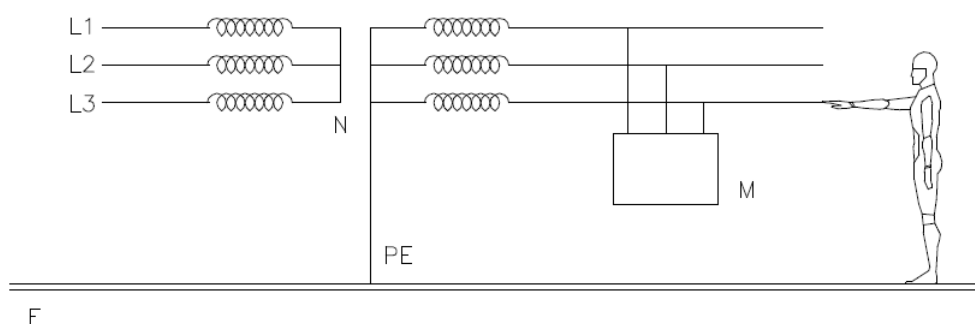


Figura 61. El contacte elèctric

En aquesta figura s'observa les tres característiques bàsiques per a que existeixi corrent elèctric:

- 1- Diferència de potencial entre mans i peus.
- 2- Contacte de les mans el els peus amb elements conductors.
- 3- Circuit tancat.

4.4 – Prevenció i/o protecció d'accidents elèctrics

Els mètodes per prevenir i/o protegir els accidents elèctrics són els següents:

- Accidents elèctrics
 - Directes
 - Acoblament elèctric
 - Conductiu
 - Contacte directe
 - Contacte indirecte
 - Protecció classe A
 - Protecció classe B
 - Capacitiu
 - Utilització d'apantallaments i postes a terra
 - Utilització d'apantallaments i postes a terra
 - Indirectes
 - Calor
 - Utilització de materials i equips elèctrics especials.
 - Utilització de sistemes de detecció i protecció contra explosions.
 - Utilització de sistemes de detecció i protecció contra incendis.
 - Radiació
 - Utilització d'envoltants amb adequat índex de protecció.
 - Reacció química
 - Utilització de materials i equips elèctrics especials.
 - Mecànica
 - Utilització de materials i equips de protecció col·lectiva i individual.

4.5 – Recomanacions bàsiques a seguir en un laboratori elèctric

Per tal d'evitar el risc elèctric, a continuació es dóna una sèrie de recomanacions bàsiques per realitzar tasques elèctriques amb el menors riscos possibles i amb el màxim nivell de seguretat possible.

Abans d'utilitzar un aparell o instal·lació elèctrica, asseguri's que el seu estat és correcte

- No utilitzar cables danyats, clavilles d'endoll esquerdades ni aparells amb carcassa que presentin desperfectes.
- Quan s'utilitza cables allargadors cal assegurar que els seus endolls tenen el mateix nombre de patilles que l'aparell elèctric que es va a connectar.

- Evitar que es danyin els conductors elèctrics, protegint-los especialment contra:
 - les cremades
 - els contactes amb productes corrosius
 - els talls produïts per útils afilats, màquines en funcionament
- Revisar periòdicament tots els components elèctrics: cables, endolls, etc.

En l'ús d'un aparell o una instal·lació elèctrica, cal maniobrar únicament els òrgans de comandament previstos pel fabricant o l'instal·lador.

- No s'ha d'alterar ni modificar els dispositius de seguretat.
- No s'ha de modificar la regulació dels òrgans de comandament ni bloquejar-los.
- Per desconectar una clavilla d'endoll, cal tirar sempre de la mateixa, mai del cable d'alimentació.
- Després d'acabar el treball, cal desconectar els cables d'alimentació i els allargadors.

No s'ha d'utilitzar aparells elèctrics, ni manipular sobre instal·lacions elèctriques, quan accidentalment es troben mullades, o si es té les mans o els peus mullats.

- En ambients humits cal assegurar juntament amb l'especialista elèctric, que les màquines elèctriques i tots els elements de la instal·lació responen a les condicions d'ús detallades per aquests casos.
- Cal evitar la utilització d'aparells o equips elèctrics:
 - o En cas de pluja o presència d'humitat.
 - o Quan els cables o qualsevol altre material elèctric travessen tolls, etc.
 - o Quan els seus peus trepitgin aigua o quan alguna part del seu cos estigui mullada.

En cas d'avaria o incident, s'ha de tallar el corrent com a primera mesura, després s'ha de limitar les seves intervencions a operacions elementals.

En cas d'avaria, apagada o qualsevol altra anomalia que excedeixi de la seva competència, s'ha de cridar a un tècnic especialitzat i no s'ha d'utilitzar l'aparell avariats fins que no sigui reparat.

Això s'aplica, entre d'altres, a situacions com:

- Típica sensació de formigueig, com a resultat d'una electrització, al tocar un aparell elèctric.
- Aparició d'espurnes o fum procedents d'un aparell o dels cables de connexió.
- Escalfament anormal d'un motor, d'un fil, d'un cable o quan una línia aèria ha caigut a terra. En aquest últim cas, no s'apropi a les proximitats de la línia avariada.

Per a socórrer a una persona electritzada per un corrent:

- No s'ha de tocar, sinó que tallar immediatament el corrent.
- Si es triga massa, o resulta impossible tallar el corrent, tracti de desenganxar a la persona electritzada per mitjà d'un element aïllant ja sigui un tauló, llistó, cadira de fusta...
- En qualsevol cas, cal cridar immediatament als serveis mèdics.

No s'ha d'intentar reparar els equips elèctrics. No realitzar ni tan sols les operacions més simples si no es disposa dels suficients coneixements sobre els riscos elèctrics.

S'ha de tallar sempre el corrent abans de qualsevol intervenció, encara que només es tracti de canviar un cable de posició.

Només un tècnic especialitzat està facultat per efectuar noves instal·lacions, així com transformacions i reparacions d'aparells o instal·lacions elèctriques.

No s'ha de realitzar reparacions provisionals de cables danyats mitjançant cinta aïllant o cosa similar.

Abans d'utilitzar aparells o màquines elèctriques, cal informar-se sobre les normes de seguretat que cal adoptar per al seu ús i respecti-les.

En condicions especials del medi ambient on es disposen (calor, fred, humitat, presència de compostos químics i de substàncies inflamables o explosives, etc.)

No s'ha d'utilitzar allargadors d'ús normal, en llocs on existeixi atmosfera inflamable o explosiva ni zones humides o amb filtracions d'aigua.

Quan s'hagi de treballar sobre una zona conductora no s'han d'utilitzar llums ni aparellatge elèctric portàtil fins que no s'hagin pres les precaucions especials per evitar contactes indirectes. Un tècnic especialitzat ha de determinar les mesures de seguretat necessàries.

No s'ha d'obrir mai les proteccions dels aparells elèctrics i s'ha de respectar tota senyal o protecció destinades a evitar el contacte del cos amb un fil o un component sota tensió elèctrica.

No s'ha d'obrir la carcassa de protecció de l'aparellatge elèctric, disjuntors, relés, etc.

No s'ha d'obrir les portes dels recintes destinats a instal·lacions elèctriques com els centres de transformació, plataformes o àrees d'assaig, etc.

Cal respectar els senyals d'avertiment i les proteccions, la missió de les quals és evitar el contacte de parts del cos amb peces d'alta tensió.

No s'ha de suprimir, desplaçar ni travessar:

- Els dispositius d'avertiment, destinats a delimitar una zona de risc elèctric.
- Les pantalles destinades a mantenir fora de l'abast els conductors de tensió
- Les fundes o revestiments aïllants de protecció instal·lats sobre conductors nus sota tensió o sobre barres col·lectores.

Per a realitzar treballs de qualsevol classe, sobre o en les proximitats d'una instal·lació elèctrica, ha de seguir les instruccions d'un tècnic elèctric especialitzat.

Un exemple d'aquestes tasques són les següents:

- Un pintor ha de pintar un mur o paret amb una canalització elèctrica.
- Un paleta ha de revocar la façana d'un centre de transformació, etc.

Per a la realització de tasques en les proximitats de línies elèctriques de distribució aèries o subterrànies, s'han d'adoptar les mesures de seguretat necessàries per a evitar qualsevol contacte amb cables.

S'ha de tenir especial atenció en tasques que es realitzin en les proximitats de línies elèctriques, com per exemple:

- ús d'aparells elevadors
- instal·lació d'antenes
- treballs en façanes
- treballs d'excavació
- etc.

Cal informar-se sobre les mesures de seguretat reglamentades abans de començar els treballs i seguir les instruccions esmentades.

Per a la protecció davant el risc d'arc elèctric, explosió o projecció de materials no és obligatori utilitzar equips de protecció quan el lloc des d'on es realitza la maniobra estigui totalment protegit davant els riscos esmentats per allunyament o interposició d'obstacles.

CAPÍTOL 5: NORMATIVA

5.1 – Normativa

Pel que fa a la normativa aplicada en aquest projecte es distingeix entre la normativa general i la normativa específica per a cada tipus de màquina.

Normativa general

- UNE – EN 60617-8:1997 *Símbolos gráficos para esquemas. Parte 8: Aparatos de medida, lámparas y dispositivos de señalización.*
- UNE – EN 60617-6:1997 *Símbolos gráficos para esquemas. Parte 6: Producción, transformación y conversión de la energía eléctrica.*

Normativa específica

- Transformadors

- UNE – EN 60076 -1:1997 *Transformadores de potencia. Parte 1: Generalidades.*
- UNE – EN 60076 -11:2004 *Transformadores de potencia. Parte 11: Transformadores de tipo seco.*
- UNE – EN 60076-2:1997 *Transformadores de potencia. Parte 2: Calentamiento.*

- Màquines síncrones

- UNE – EN 60034 -2-1:2007 *Máquinas eléctricas rotativas. Parte 2: Métodos para la determinación de las pérdidas y del rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas a partir de los ensayos (excepto las máquinas para vehículos de tracción)*
- UNE – EN 60034-1:2011 *Máquinas eléctricas rotativas. Parte 1: Características asignadas y características de funcionamiento.*

- Màquines asíncrones

- UNE – EN 60034 -28:2007 *Máquinas eléctricas rotativas. Parte 28: Métodos de ensayo para determinar las magnitudes de los esquemas del circuito equivalente para motores de inducción de jaula trifásicos de baja tensión.*

ANNEXES

CAPÍTOL 1:

TRANSFORMADORS

1.1 – Assaig de mesura de les resistències dels debanats

1.1.1 - Estudi d'errors en la mesura de les resistències dels debanats d'un transformador

En el present projecte s'ha realitzat la mesura de les resistències dels debanats d'un transformador monofàsic i d'un trifàsic mitjançant tres mètodes de mesura diferents.

A priori es sap que les resistències dels debanats d'un transformador no s'han de mesurar amb un polímetre ja que aquestes tenen valors inferiors a 1Ω . Per tant s'han utilitzat els següents mètodes de mesura:

- Mètode tensió – corrent
- Pont de Wheatstone
- Pont de Thompson

El mètode tensió – corrent és el que es pren com a referència ja que és el mètode que indica la normativa.

El pont de Wheatstone és un instrument de mesura adequat per a mesurar resistències de baix valor òhmic.



Figura 62. Pont de Wheatstone

El pont de Thompson és una modificació del pont de Wheatstone i proporciona un increment en l'exactitud de la mesura de les resistències de baix valor òhmic.



Figura 63. Pont de Thompson

La mesura exacta de resistències inferiors a aquest valor presenta varis problemes que no apareixen amb les resistències d'alt valor òhmic.

Una de les dificultats es causada pels contactes entre les resistències i els seus cables de connexió. Les resistències dels contactes poden ser de l'ordre de $10^{-4}\Omega$ les quals es poden menysprear en front a una resistència de 100Ω però no en les resistències de baixa valor òhmic ja que aquesta constitueix una fracció significativa de la mateixa.

En la mesura d'una resistència, donada la naturalesa dels errors, variada i imprevisible és molt oportú fer una anàlisi de caràcter general i classificar-los d'acord les característiques específiques de cadascun.

Fonamentalment, els errors es divideixen en dos grans classes:

- Errors sistemàtics
- Errors causals o aleatoris

Els errors sistemàtics es quan determinats errors es repeteixen constantment en el transcurs d'un experiment o bé durant una particular sèrie de mesures. Es diu que els errors estan presents de manera sistemàtica afectant així als resultats finals.

Es pot distingir varies fonts en aquest tipus d'errors, entre elles apareix l'error de calibratge dels instruments de mesura i les condicions experimentals no apropiades. Aquesta última succeeix quan s'utilitza aparells sota condicions de treball diferents a les condicions recomanades. Molts problemes d'aquesta naturalesa poden ser eliminats respectant les especificacions dels manuals subministrats. Quan això no sigui possible, s'han de realitzar les degudes correccions a les lectures dels instruments.

Els errors causals, com la mateixa paraula ho diu, no es possible determinar la causa d'aquests errors. Sempre que estiguin presents en la mesura de qualsevol quantitat física es a priori imprevisible.

En aquest tipus d'errors es distingeix entre:

- Errors d'apreciació

La majoria dels instruments de mesura, requereixen una estimació d'una certa fracció de la més petita divisió de l'escala de lectura ($1/2$ fracció, $1/4$ o $1/5$, segons escales) i el que un experimentador pot apreciar, pot variar contínuament, una vegada aprecia més, altra una fracció menys i aquest succeeix per una quantitat de raons que no es coneixen i no poden ser corregides amb anterioritat.

- Condicions de treball

En el transcurs d'un experiment, moltes condicions ambientals poden canviar, per exemple la pressió atmosfèrica, la temperatura, la humitat, el punt "zero" d'un instrument, etc.

Per últim, hi ha una classe d'errors de naturalesa molt diferents a les dos anteriors.

Aquest tipus d'errors s'anomenen errors il·legítics. Aquests no es cometen de forma sistemàtica ni de forma casual en el treball de recerca de dades experimentals. Són deguts en part a la forma com l'experimentador ha sabut aprofitar les mesures realitzades i en part a factors personals com per exemple una distracció, cansament...

Molt sovint se'ls anomena extraexperimentals. És lamentable senyalar que aquests errors, per més que l'habilitat del experimentador estigui comprovada, estan gairebé

sempre presents, encara que en la majoria dels casos poden ser detectats a temps o bé no canvien apreciablement els resultats finals. Aquests són:

- Errors personals

Aquests deriven d'una mala lectura de l'escala del instrument, d'un mal ajustament de les condicions operatives d'un aparell, d'un ajust intermedi mal realitzat, de càlculs preliminars mal executats, etc.

- Errors de càlcul

Aquest tipus d'errors té a veure amb les xifres significatives amb les quals s'han pres les mesures.

Per comprendre bé l'estudi d'errors es defineixen una sèrie de conceptes:

- Precisió: és l'aprop que estan els valors mesurats uns dels altres.
- Exactitud: és l'aprop que està el resultat d'una medició respecte del valor real.
- Sensibilitat: aquesta està associada a l'aparell de mesura. S'entén com l'habilitat d'un instrument per detectar variacions petites (la mínima) de la magnitud a mesurar.

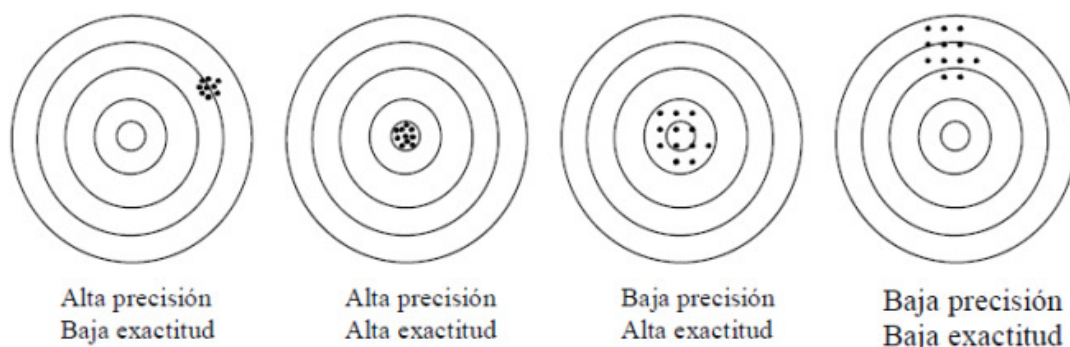


Figura 64. Precisió i exactitud

En la realització de l'assaig de mesures de les resistències dels debanats, hi influeixen de manera indirecta els errors causals o aleatoris i els errors il·legítims.

Cal remarcar la importància del coneixement del nombre de xifres significatives amb les quals s'han pres les mesures ja que això facilita molt el treball i al mateix temps clarifica el problema de com tractar numèricament totes les quantitats afectades pels errors.

Mètode	Nombre de xifres significatives
Tensió - corrent	2
Pont de Wheatstone	2
Pont de Thompson	3

Taula 95. Xifres significatives

També es important saber la sensibilitat amb la qual treballa cada aparell.

Mètode	Sensibilitat
Tensió - corrent	0.01
Pont de Wheatstone	0.04
Pont de Thompson	0.0001

Taula 96. Sensibilitat

El terme error s'utilitza normalment en el llenguatge corrent com a sinònim d'equivocació o falla, però aquí cobra un significat més particular, està associat a la incertesa en la determinació del resultat d'una medició. Més precisament el que es procura en tota medició es conèixer els límits o cotes d'aquesta incertesa.

Per poder obtenir aquests límits es calcula l'error absolut i relatiu de cada mesura. Per poder calcular-ho, es pren com valors referència, valor real, els mesurats amb el mètode tensió – corrent ja que aquest és el mètode regulat per la normativa vigent.

L'error absolut (E_a) és igual a la imprecisió que acompanya a la mesura. Aquest dona una idea de la sensibilitat de l'aparell o de l'acurades que han estat realitzades les mesures per el poc disperses que han resultat.

$$X_{\text{real}} = X_{\text{mesurat}} \pm E_a$$

Equació 85. Error absolut

L'error absolut indica el grau d'aproximació i dona un índex de la qualitat de la mesura. El coneixement de la qualitat de la mesura es complementa amb l'error relatiu.

L'error relatiu (E_r) és el quocient entre l'error absolut i el valor verdader.

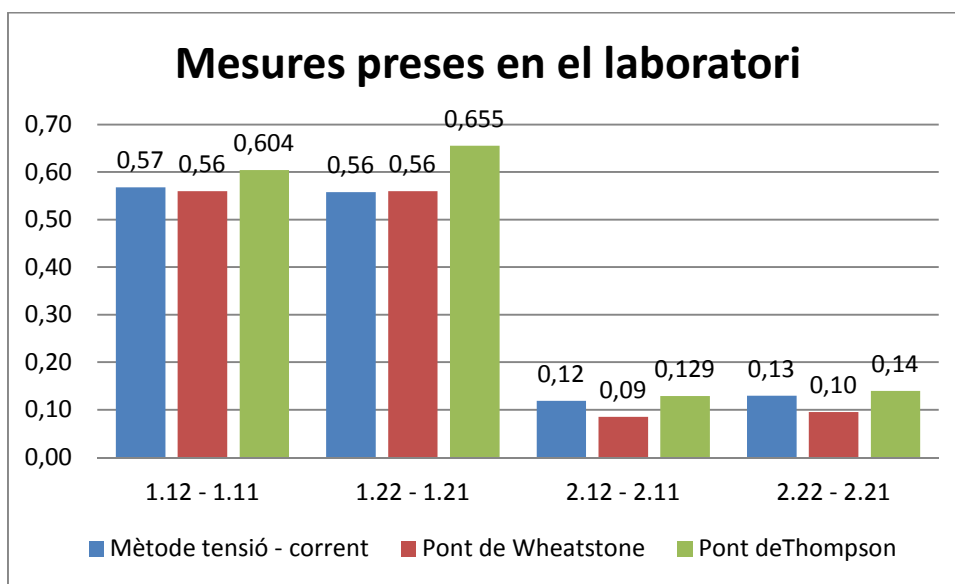
$$E_r = \frac{\text{Error absolut}}{\text{Valor verdader}} \cdot 100 = \frac{\text{Valor real} - \text{Valor mesurat}}{\text{Valor real}} \cdot 100$$

Equació 86. Error relatiu

De fet, l'error que més s'utilitza es aquest últim ja que al expressar-se en tant per cent, dona una idea del tant per cent d'error que s'està cometent en la mesura.

A continuació es mostra l'estudi dels valors de les resistències per a cada transformador.

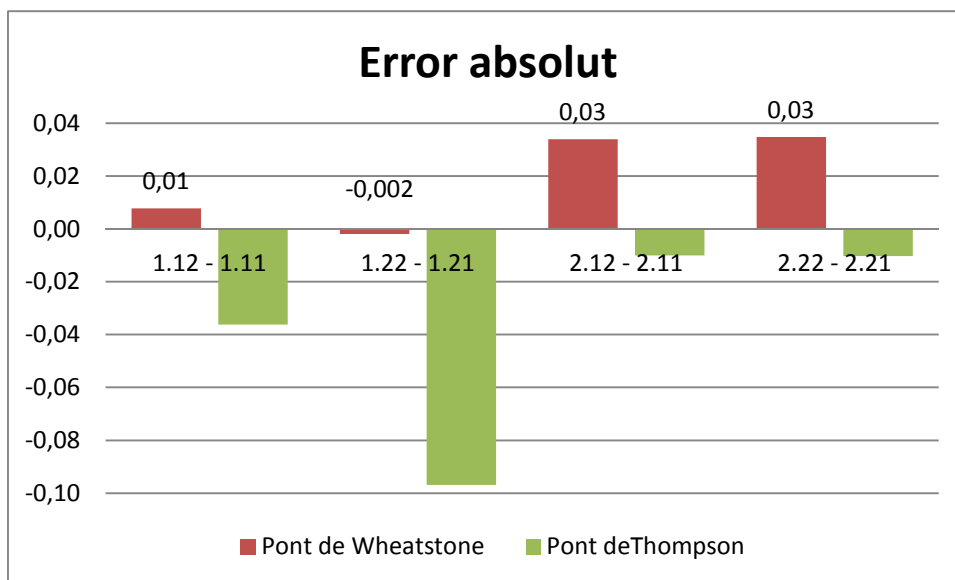
Primerament, es comença pel transformador monofàsic, corresponent a la fulla de càlcul Trafo_005_monofàsic.



Gràfic 33. Mesures preses Trafo 005

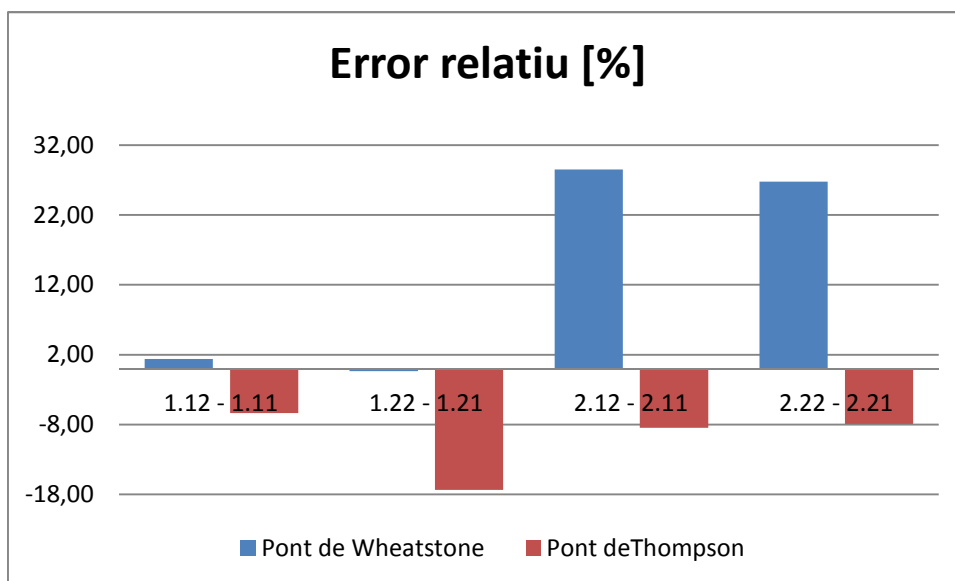
En aquest gràfic s'observa les mesures preses en el laboratori mitjançant els diferents mètodes de mesura. En ell s'observa que les mesures preses amb els tres mètodes de mesura no difereixen gaire entre elles.

A continuació es calcula l'error absolut que és la diferència entre el valor real i el valor mesurat. Aquest error pot ocórrer per falta o per excés.



Gràfic 34. Error absolut Trafo 005

Posteriorment es calcula l'error relatiu. Aquest també pot ocórrer per falta o per excés.



Gràfic 35. Error relatiu Trafo 005

En el present estudi del transformador monofàsic, per dur a terme un estudi dels errors comesos, en primer lloc s'ha calculat l'error absolut. Aquest error relaciona la sensibilitat de l'aparell amb l'acurades que han estat preses les mesures.

Pel que fa la comparació de les mesures preses amb el pont de Wheatstone respecte amb el mètode tensió corrent, l'error absolut no sobrepassa el valor de la sensibilitat de l'aparell en cap mesura.

En canvi, comparant el pont de Thompson amb el mètode tensió – corrent en dues mesures, concretament les de les bobines 1.12-1.11 i 1.22 – 1.21 si que es sobrepassa el valor de la sensibilitat.

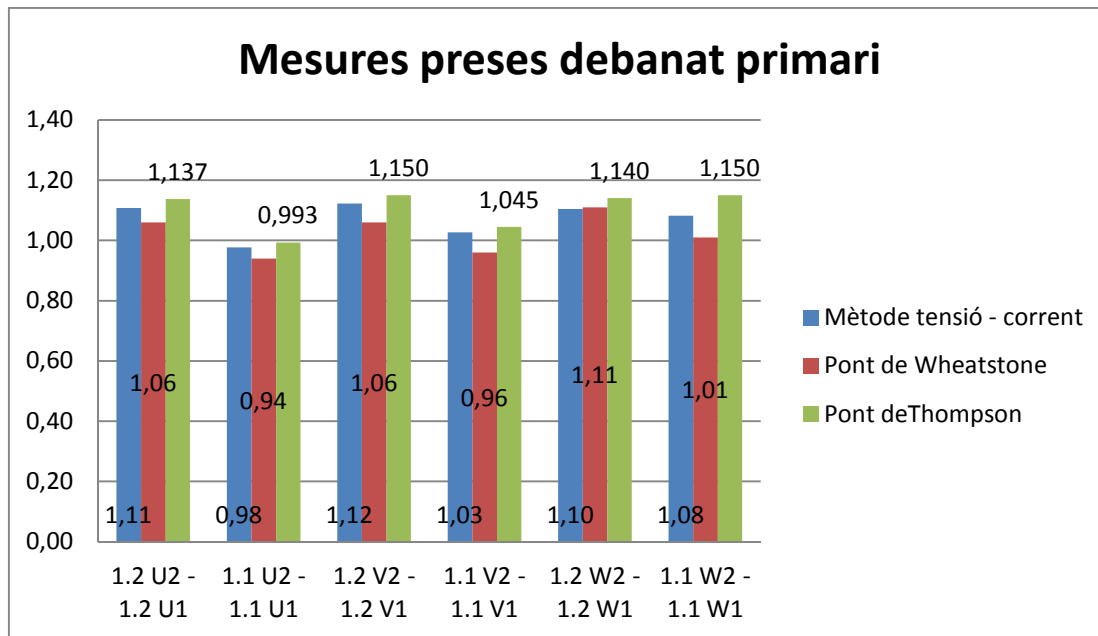
En resum, només amb l'error absolut no es pot fer una comparació de mesures, tot i que aquest dóna una aproximació en la qualitat de l'aparell, no n'hi ha prou.

Per tal de conèixer més exactament la qualitat de l'aparell s'ha calculat l'error relatiu. Aquest relaciona l'error absolut amb el valor real. El valor real considerat és el mesurat per el mètode tensió – corrent ja que és el mètode indicat per la normativa.

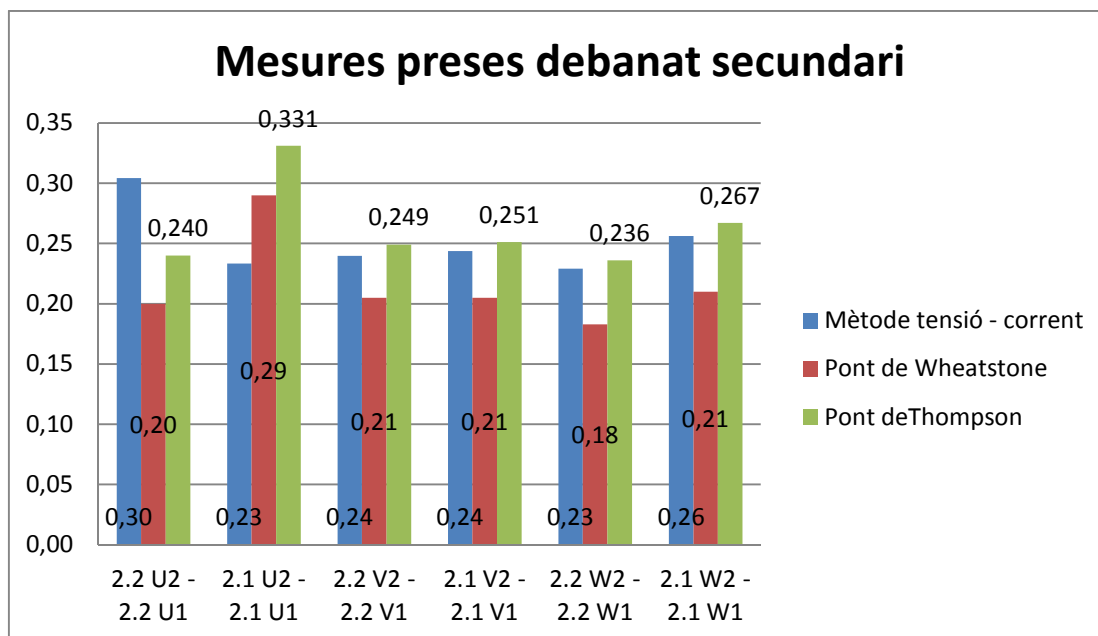
Observant el gràfic de l'error relatiu, s'observa que amb les mesures obtingudes amb el pont de Thompson, és comet menys error que amb les preses amb el pont de Wheatstone. Per tant, s'afirma que el pont de Thompson té una qualitat més elevada que el pont de Wheatstone.

A continuació s'analitza el transformador trifàsic. Aquest correspon a la fulla de càlcul Trafo_001.

A l'haver més resistències a mesurar que en un transformador monofàsic, s'ha optat per separar les mesures per debanat.

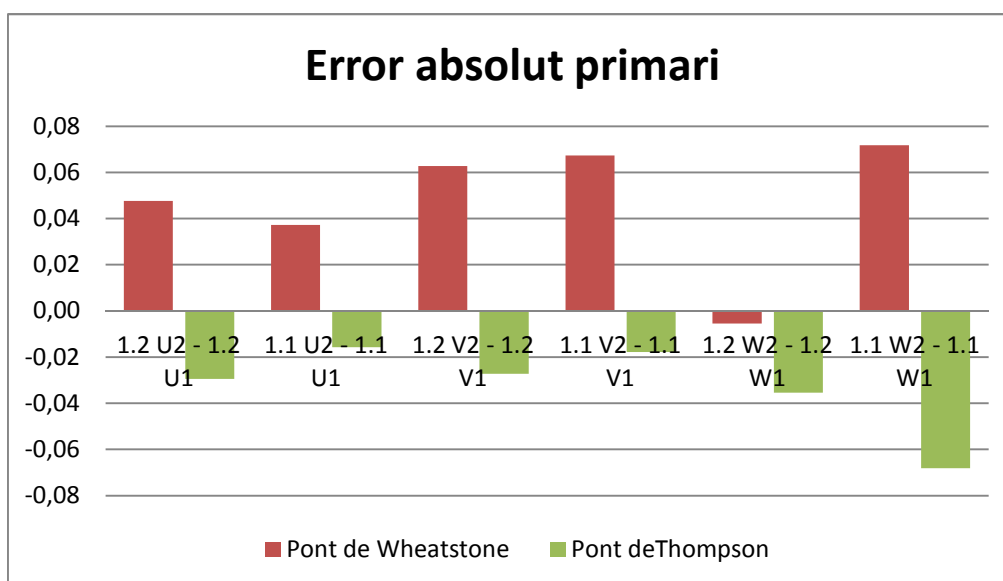


Gràfic 36. Mesures preses debanat primari Trafo 001

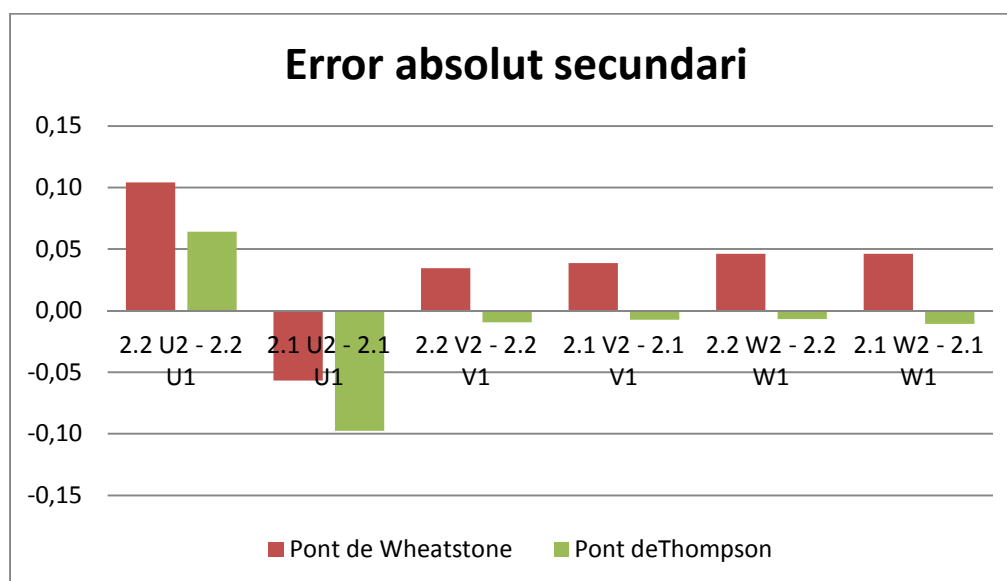


Gràfic 37. Mesures preses debanat secundari Trafo 001

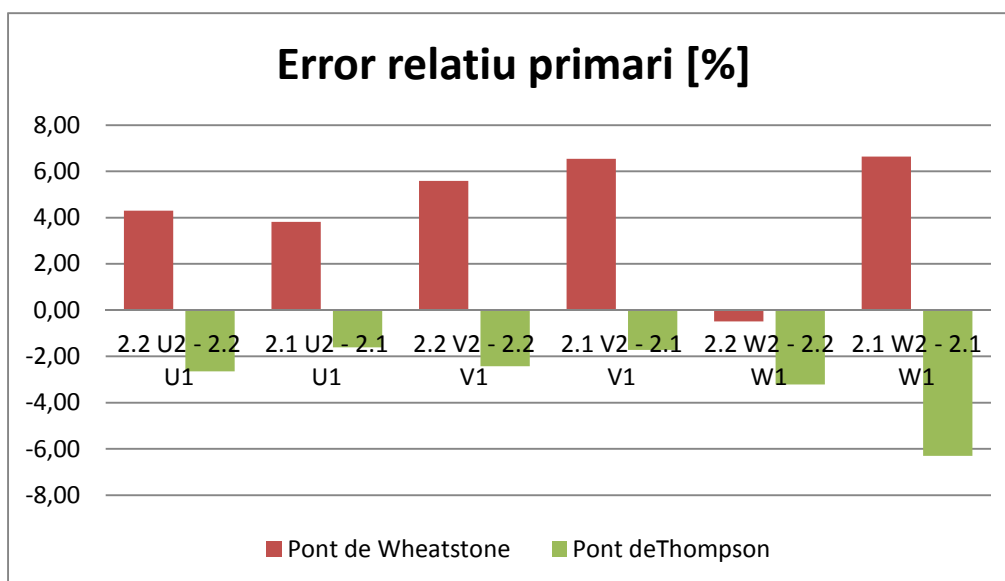
A continuació també es calcula l'error absolut i relatiu per a cada debanat.



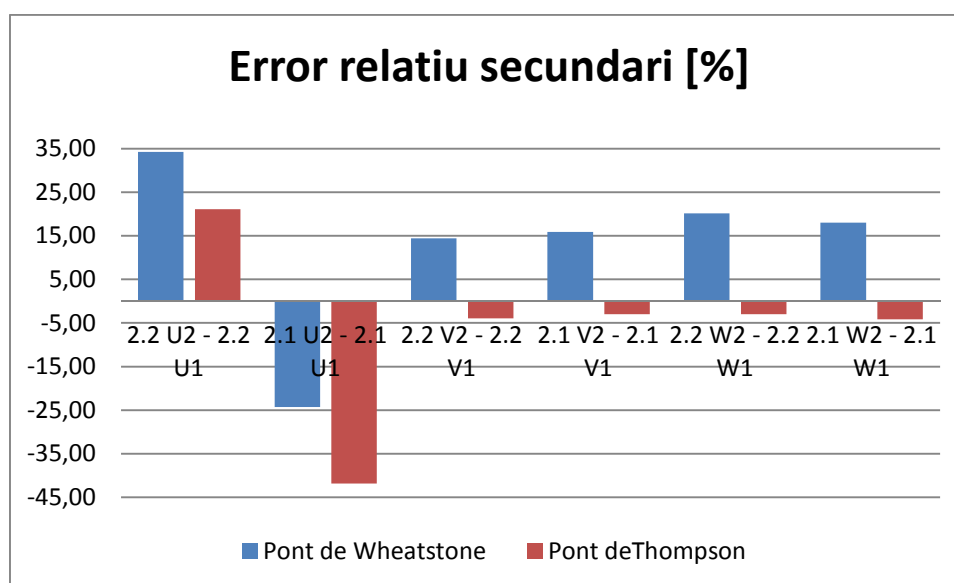
Gràfic 38. Error absolut debanat primari Trafo 001



Gràfic 39. Error absolut debanat secundari Trafo 001



Gràfic 40. Error relatiu de banat primari Trafo 001



Gràfic 41. Error relatiu de banat secundari Trafo 001

En el present estudi del transformador trifàsic, s'ha realitzat de la mateixa manera que en el transformador monofàsic. A diferència que en l'anterior s'analitzen els errors per debanat.

En les mesures preses en el debanat primari, no s'observa una variació tant elevada respecte en les mesures en el debanat secundari.

Debanat primari

Pel que fa la comparació de les mesures preses amb el pont de Wheatstone respecte amb el mètode tensió corrent, l'error absolut sobrepassa el valor de la sensibilitat de l'aparell en totes les mesures excepte dues, concretament $1.1 U_2 - 1.1 U_1$ i $1.2 W_2 - 1.1 W_1$.

En canvi, comparant el pont de Thompson amb el mètode tensió – corrent en dues mesures, es sobrepassa el valor de la sensibilitat en tots els casos.

Debanat secundari

Pel que fa la comparació de les mesures preses amb el pont de Wheatstone respecte amb el mètode tensió corrent, l'error absolut sobrepassa el valor de la sensibilitat de l'aparell en dues mesures, concretament $2.2 U_2 - 2.2 U_1$ i $2.1 U_2 - 2.1 U_1$.

En canvi, comparant el pont de Thompson amb el mètode tensió – corrent en dues mesures, també es sobrepassa el valor de la sensibilitat en dues mesures, concretament les mateixes que amb el pont de Wheatstone.

En resum, només amb l'error absolut no es pot fer una comparació de mesures, tot i que aquest dóna una aproximació en la qualitat de l'aparell, no n'hi ha prou.

Per tal de conèixer més exactament la qualitat de l'aparell s'ha calculat l'error relatiu. Aquest relaciona l'error absolut amb el valor real. El valor real considerat és el mesurat per el mètode tensió – corrent ja que és el mètode indicat per la normativa.

Observant els gràfics de l'error absolut d'ambdós debanats, s'observa que amb les mesures és comet menys error que amb les preses amb el pont de Wheatstone. Per tant, es torna a afirmar que el pont de Thompson té una qualitat més elevada que el pont de Wheatstone.

Com a conclusions generals, se'n pot extreure que el pont de Thompson és més exacte que el pont de Wheatstone ja que les mesures realitzades estan més pròximes al valor real considerat.

I per comprovar la precisió dels aparells, s'ha de prendre una sèrie de valors i observar el distants que estan un dels altres.

1.1.2 – Fotos del muntatge realitzat en el laboratori

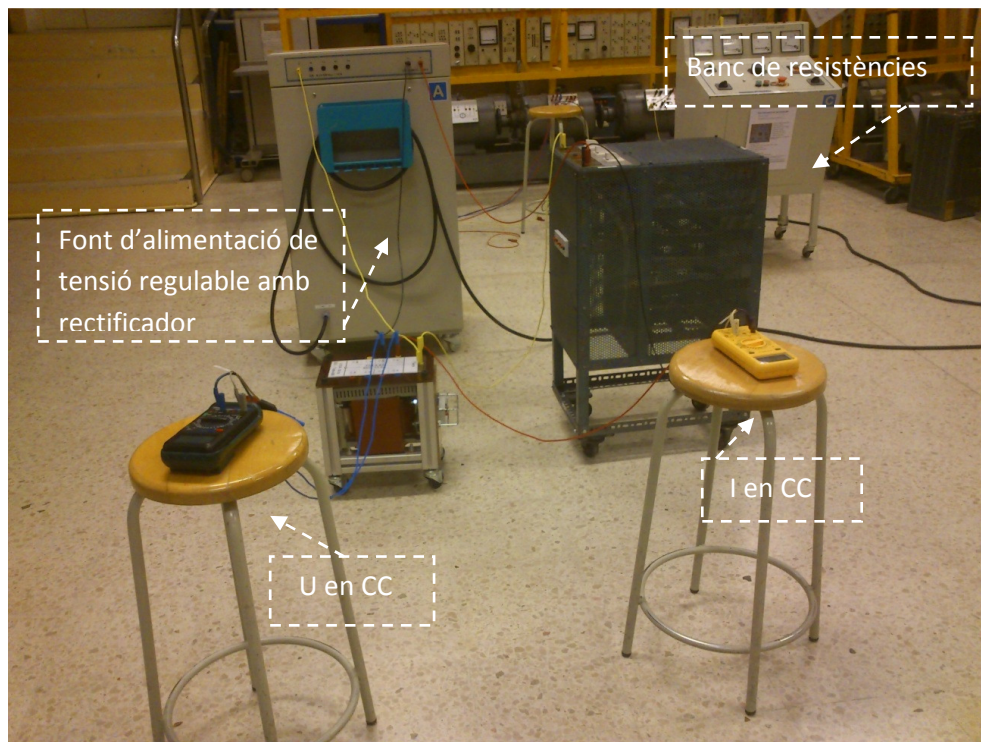


Figura 65. Mesura de les resistències dels debanats d'un transformador monofàsic segons el mètode tensió – corrent

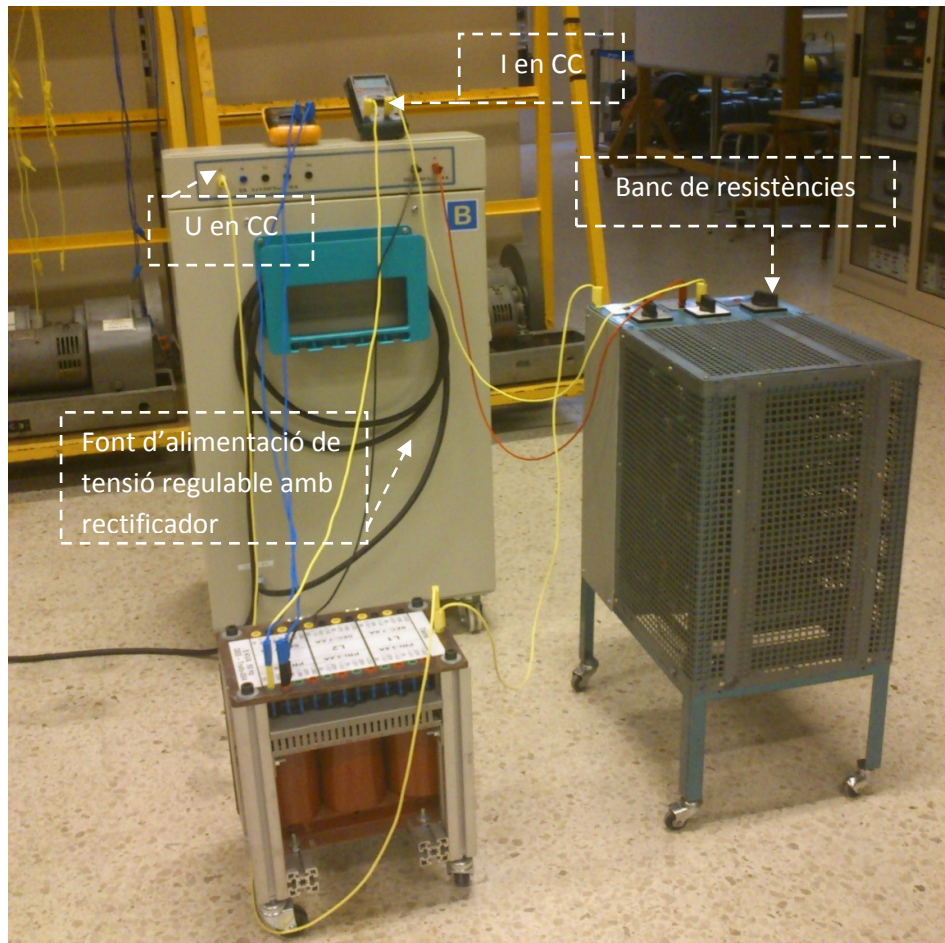


Figura 66. Mesura de les resistències dels debanats d'un transformador trifàsic segons el mètode tensió - corrent



Figura 67. Mesura de les resistències dels debanats d'un transformador monofàsic amb el pont de Thompson

1.2 – Assaig de mesura de la relació de transformació

1.2.1 – Fotos del muntatge realitzat en el laboratori

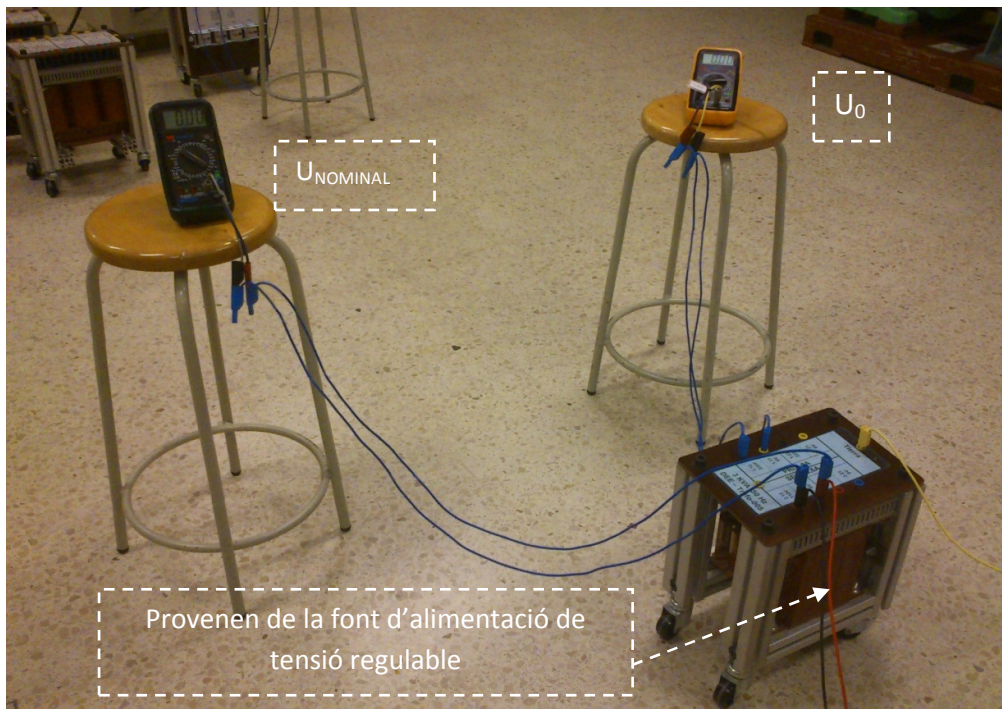


Figura 68. Mesura de la relació de transformació d'un transformador monofàsic

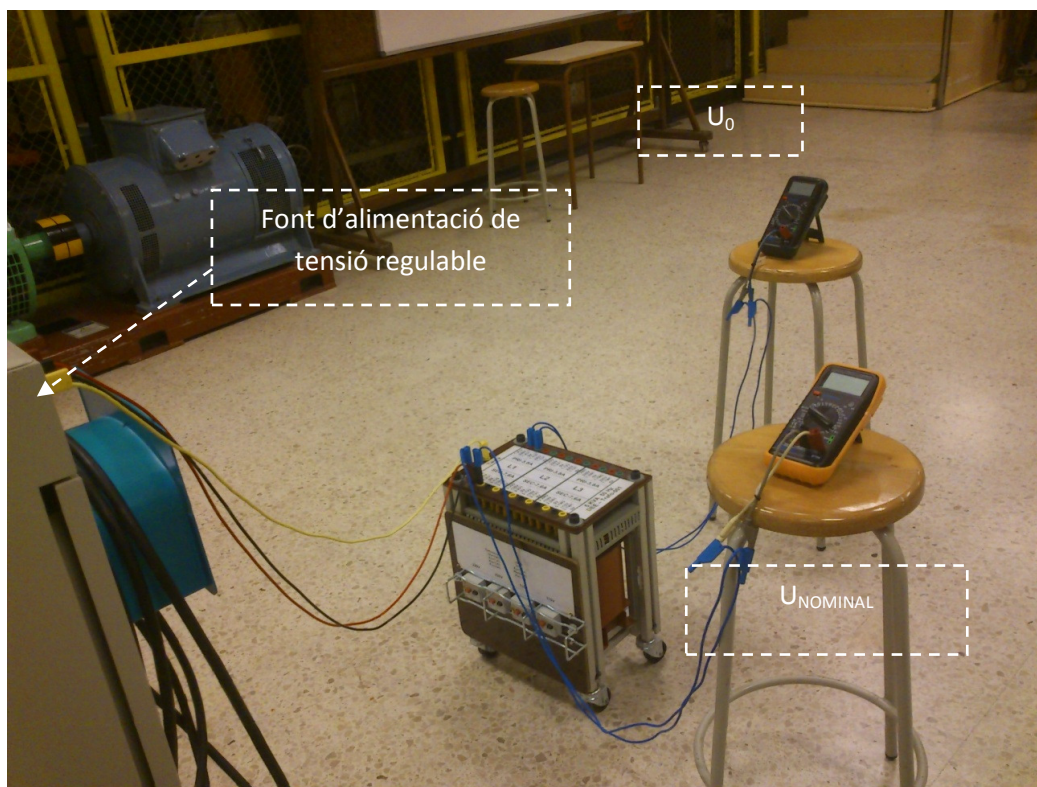


Figura 69. Mesura de la relació de transformació d'un transformador trifàsic

1.3 – Assaig de mesura de les pèrdues i del corrent de buit

1.3.1 – Dades obtingudes en l'assaig

- Transformador 001

U_R [V]	U_S [V]	U_T [V]	U_{0R} [V]	U_{0S} [V]	U_{0T} [V]	I_{0R} [A]	I_{0S} [A]	I_{0T} [A]	P_{0R} [W]	P_{0S} [W]	P_{0T} [W]
39	41,6	40	81	83	83	0,07	0,21	0,36	14,3	2,2	0,2
47	49,6	48	97	99	99	0,09	0,21	0,38	17,1	3,7	0,6
59	61,1	60	121	122	123	0,13	0,23	0,42	23,7	6,6	2,6
67	69	68	137	138	139	0,14	0,26	0,48	31,9	8	0,2
77	79,8	78	159	160	160	0,2	0,31	0,51	35,9	11,4	6,2
85	87,2	86	175	176	176	0,28	0,32	0,6	42,3	21	2,2
97	99,3	98	198	200	200	0,4	0,55	0,72	55,3	24,2	4,7
109	112,3	111	224	226	226	0,81	0,81	0,9	71	41,9	2
118	120,9	120	242	244	242	1,14	1,12	1,13	82,3	46,5	8,9
128	131,1	130	262	265	262	1,73	1,6	1,53	102,5	52,2	5,7
134	137,7	136	275	278	276	2,26	2,09	2,1	128,2	60,9	0
137	140	138	279	282	280	2,48	2,3	2,32	130,9	57	0

Taula 97. Dades obtingudes en l'assaig de mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 001_1

U_R [V]	U_S [V]	U_T [V]	U_{0R} [V]	U_{0S} [V]	U_{0T} [V]	I_{0R} [A]	I_{0S} [A]	I_{0T} [A]	P_{0R} [W]	P_{0S} [W]	P_{0T} [W]
39	41,6	41	81	83	84	0,06	0,26	0,42	17,1	2,5	0
47	49,4	48	97	99	99	0,09	0,23	0,4	18,4	4,1	0,4
59	61,5	60	121	123	124	0,12	0,25	0,46	26,4	7,1	0,8
67	69,8	68	138	140	139	0,16	0,25	0,43	29,4	10	3,3
77	79,5	78	158	160	159	0,2	0,3	0,44	36	13,2	4,7
88	89,8	89	180	181	181	0,31	0,35	0,59	42,1	22,3	5,9
98	100,8	100	202	203	203	0,47	0,54	0,61	54,3	31	3,6
110	112,4	111	224	226	226	0,76	0,83	0,9	75	37,5	4
121	124,7	124	249	252	251	1,29	1,29	1,29	96,3	51	5,3
132	134,9	133	269	272	270	1,95	1,82	1,87	117,7	60,6	3
137	140,7	139	281	285	281	2,58	2,41	2,44	134,6	59,2	7

Taula 98. Dades obtingudes en l'assaig de mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 001_2

- Transformador 002

U_R [V]	U_S [V]	U_T [V]	U_{0R} [V]	U_{0S} [V]	U_{0T} [V]	I_{0R} [A]	I_{0S} [A]	I_{0T} [A]	P_{0R} [W]	P_{0S} [W]	P_{0T} [W]
39	42	41	81	83	84	0,06	0,22	0,36	14,8	1,9	0,1
48	51,6	50	101	103	103	0,08	0,26	0,42	20,3	2,7	0,8
59	61,7	60	121	123	123	0,13	0,21	0,4	24,5	7,5	1,6
69	71,7	71	142	144	144	0,15	0,25	0,5	33,4	9,3	1
81	83,4	82	167	168	168	0,22	0,33	0,57	41,9	16,6	1
90	92,5	92	185	186	186	0,25	0,45	0,65	51,7	18,2	3,8
101	103,4	103	208	209	208	0,46	0,56	0,74	59	28,2	6,4
110	112,5	112	226	227	226	0,67	0,76	0,9	72,3	34,2	6,1
121	123,7	123	248	250	248	0,96	1,17	1,2	95,1	40,6	5,9
132	134,6	133	269	271	269	1,56	1,69	1,7	121,3	42,1	11,7
138	141,2	139	283	285	282	2,2	2,28	2,33	139,3	38,5	11,8

Taula 99. Dades obtingudes en l'assaig de mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 002_1

U_R [V]	U_S [V]	U_T [V]	U_{0R} [V]	U_{0S} [V]	U_{0T} [V]	I_{0R} [A]	I_{0S} [A]	I_{0T} [A]	P_{0R} [W]	P_{0S} [W]	P_{0T} [W]
38	40,7	39	78	81	81	0,05	0,27	0,4	15,8	0,4	0,1
49	51,8	50	100	103	103	0,08	0,34	0,48	24,5	0,2	0,7
59	61,7	60	121	124	123	0,09	0,33	0,49	29,3	2,4	1,1
70	72,5	72	143	145	146	0,13	0,35	0,55	38,3	6,7	1
80	82,8	82	163	166	166	0,14	0,45	0,66	49,8	7	1
93	94,4	94	188	190	190	0,24	0,51	0,7	52,8	15,3	3
102	103,7	103	205	208	209	0,35	0,68	0,82	70,4	17,3	3,5
110	112,1	111	223	226	225	0,53	0,85	0,94	81,5	23,4	3,6
120	122,4	121	243	247	246	0,84	1,16	1,18	101,2	27,2	6,4
130	132,7	131	263	268	265	1,26	1,69	1,55	127,1	23,2	14,5
138	140,6	138	279	283	280	1,99	2,27	2,05	142	16,8	28,6

Taula 100. Dades obtingudes en l'assaig de mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 002_2

- Transformador 003

U_R [V]	U_S [V]	U_T [V]	U_{OR} [V]	U_{OS} [V]	U_{OT} [V]	I_{OR} [A]	I_{OS} [A]	I_{OT} [A]	P_{OR} [W]	P_{OS} [W]	P_{OT} [W]
38	40,7	40	79	134	101	0,08	0,22	0,37	14,6	2,3	0,3
48	50,5	49	99	167	125	0,08	0,28	0,44	21,9	1,1	1,6
59	61,1	60	121	202	152	0,12	0,28	0,48	24,7	5,4	4,2
69	71,8	71	143	238	179	0,17	0,28	0,5	32	9,4	3,1
80	82	81	164	272	204	0,2	0,35	0,57	41,7	14,9	0,5
92	94,5	94	190	315	236	0,34	0,41	0,64	49,6	22,2	6,1
103	104,5	104	210	350	261	0,44	0,55	0,74	60,6	28,5	7
110	112,1	111	224	374	279	0,52	0,75	0,89	77,4	28,7	9
120	121,6	120	244	406	302	0,75	1,01	1,1	92,1	32,5	10,9
130	132,9	131	266	443	330	1,26	1,48	1,54	115,3	38,1	17,3
140	143,4	141	286	480	355	2,42	2,45	2,57	148,2	38,9	24,7

Taula 101. Dades obtingudes en l'assaig de mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 003_1

U_R [V]	U_S [V]	U_T [V]	U_{OR} [V]	U_{OS} [V]	U_{OT} [V]	I_{OR} [A]	I_{OS} [A]	I_{OT} [A]	P_{OR} [W]	P_{OS} [W]	P_{OT} [W]
40	42,9	42	83	85	91	0,07	0,28	0,43	17,6	2	1
51	53,3	52	105	106	113	0,1	0,25	0,42	21,6	4,1	0,7
61	63,8	63	126	128	136	0,13	0,3	0,5	30	6,7	1
71	73,7	73	147	148	157	0,16	0,35	0,55	39,1	8,6	1
84	86,4	85	173	174	184	0,26	0,34	0,56	42	17,2	4
94	96,1	95	192	193	203	0,32	0,46	0,63	52,2	18,5	8,6
104	106,2	105	213	214	227	0,45	0,57	0,79	64,4	29,5	4,3
111	113,1	113	227	228	242	0,61	0,72	0,87	72,2	30,5	11,7
120	122,4	121	246	248	261	0,83	1,01	1,11	94,1	28,2	14,9
130	132,9	131	266	269	282	1,32	1,44	1,47	115,8	32,3	21
137	140,2	138	281	282	297	2,01	2,03	2,15	140	29,2	30,6

Taula 102. Dades obtingudes en l'assaig de mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 003_2

- Transformador 004

35	38,3	37	73	75	76	0,05	0,25	0,37	14	0,2	1,1
44	46,7	46	91	94	94	0,09	0,27	0,43	19,4	3,1	1
54	56,7	56	112	114	114	0,11	0,28	0,47	25,2	5,3	0,2
66	68,3	67	136	138	138	0,14	0,29	0,5	32,4	7,8	0,8
76	78,1	77	155	157	156	0,19	0,25	0,5	36,3	11,2	6,9
87	89,3	88	179	180	179	0,27	0,36	0,55	43,2	16,2	8
96	99,1	98	198	201	195	0,3	0,51	0,72	60,3	16,3	7,4
110	112,2	111	225	228	225	0,48	0,71	0,92	77	27,1	7,4
120	121,7	121	245	247	245	0,7	0,92	1,1	88,5	26,9	23
130	131,4	130	265	266	263	1,1	1,26	1,44	106	29,2	30,5
138	140	138	281	283	279	1,78	1,87	2,04	126,2	24,2	39,5

Taula 103. Dades obtingudes en l'assaig de mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 004_1

U_R [V]	U_S [V]	U_T [V]	U_{OR} [V]	U_{OS} [V]	U_{OT} [V]	I_{OR} [A]	I_{OS} [A]	I_{OT} [A]	P_{OR} [W]	P_{OS} [W]	P_{OT} [W]
37	39,76	38	77	78	79	0,08	0,24	0,38	14,4	2	0,1
47	50	49	98	100	100	0,1	0,25	0,4	18,6	3,5	1,4
57	59,4	58	117	119	120	0,13	0,27	0,46	26,2	6	0,4
67	69,8	69	139	140	140	0,17	0,28	0,46	30,5	9,4	2,8
78	80,3	79	160	161	161	0,2	0,31	0,52	37,4	12,5	3,9
89	91,2	90	183	184	184	0,25	0,42	0,63	51	16,1	4,7
99	100	100	203	203	203	0,37	0,47	0,69	55,4	21,8	9,8
111	112,6	112	226	227	227	0,51	0,71	0,91	73,5	25,8	12,7
122	123,3	122	249	249	248	0,79	1,01	1,09	90	19,8	29,8
130	131,3	130	265	265	263	1,13	1,27	1,45	102,1	28	29,8
137	139,6	138	281	281	278	1,73	1,85	2,04	127,4	28,9	38,8

Taula 104. Dades obtingudes en l'assaig de mesura de les pèrdues i del corrent de buit del Trafo 004_2

1.3.1 – Fotos del muntatge realitzat en el laboratori

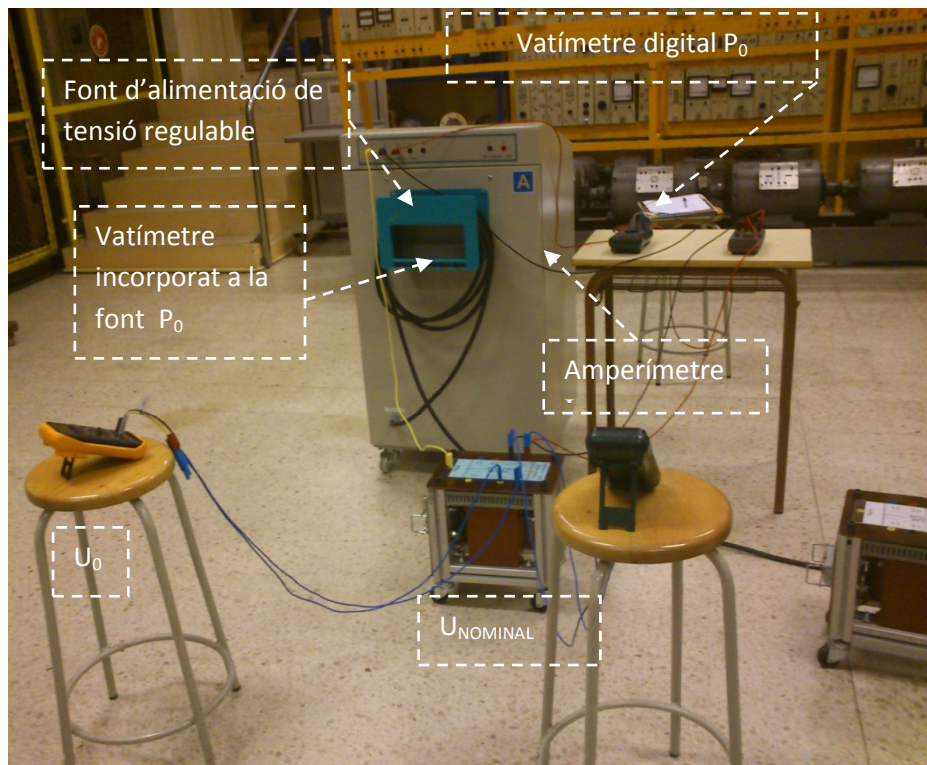


Figura 70. Mesura de les pèrdues i el corrent de buit d'un transformador monofàsic

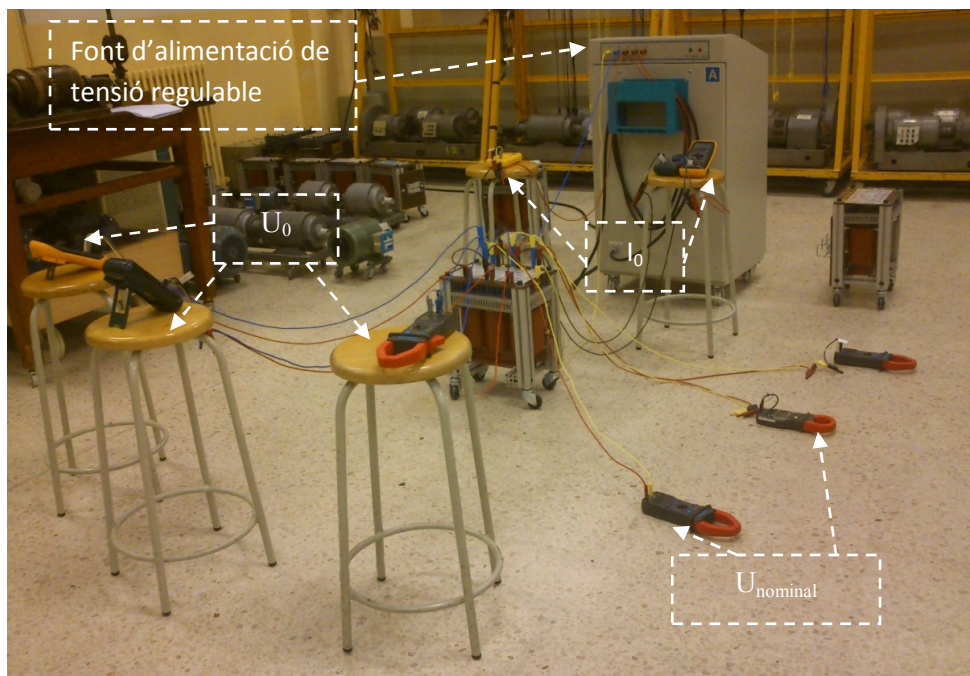


Figura 71. Mesura de les pèrdues i el corrent de buit d'un transformador trifàsic

1.4 – Assaig de mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega

1.4.1 – Càlcul de les pèrdues en el coure pel punt nominal

- Transformador 001

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
7,60	3,80	4,18	92,80

L1		L2		L3	
$R_{A.T.}$ [Ω]	1,11	$R_{A.T.}$ [Ω]	1,12	$R_{A.T.}$ [Ω]	1,10
$R_{B.T.}$ [Ω]	0,30	$R_{B.T.}$ [Ω]	0,24	$R_{B.T.}$ [Ω]	0,23
$I_{B.T}$ [A]	7,60	$I_{B.T}$ [A]	7,60	$I_{B.T}$ [A]	7,60
I_{cc} [A]	3,80	I_{cc} [A]	3,80	I_{cc} [A]	3,80
P_{cc} [W]	33,56	P_{cc} [W]	30,05	P_{cc} [W]	29,19
$P_{ccTOTAL}$ [W]	92,80				

Taula 105. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 001_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
7,60	3,80	3,92	86,92

L1		L2		L3	
$R_{A.T.} [\Omega]$	0,98	$R_{A.T.} [\Omega]$	1,03	$R_{A.T.} [\Omega]$	1,08
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,23	$R_{B.T.} [\Omega]$	0,24	$R_{B.T.} [\Omega]$	0,26
$I_{B.T.} [A]$	7,60	$I_{B.T.} [A]$	7,60	$I_{B.T.} [A]$	7,60
$I_{cc} [A]$	3,80	$I_{cc} [A]$	3,80	$I_{cc} [A]$	3,80
$P_{cc} [W]$	27,59	$P_{cc} [W]$	28,91	$P_{cc} [W]$	30,42
$P_{ccTOTAL} [W]$		86,92			

Taula 106. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 001_2

- Transformador 002

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

$I_{B.T.} [A]$	$I_{cc} [A]$	$U_{cc} [V]$	$P_{cc} [W]$
7,60	3,80	4,24	95,95

L1		L2		L3	
$R_{A.T.} [\Omega]$	1,14	$R_{A.T.} [\Omega]$	1,11	$R_{A.T.} [\Omega]$	1,04
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,26	$R_{B.T.} [\Omega]$	0,27	$R_{B.T.} [\Omega]$	0,31
$I_{B.T.} [A]$	7,60	$I_{B.T.} [A]$	7,60	$I_{B.T.} [A]$	7,60
$I_{cc} [A]$	3,80	$I_{cc} [A]$	3,80	$I_{cc} [A]$	3,80
$P_{cc} [W]$	31,33	$P_{cc} [W]$	31,60	$P_{cc} [W]$	33,02
$P_{ccTOTAL} [W]$		95,95			

Taula 107. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 002_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
7,60	3,80	4,10	91,10

L1		L2		L3	
$R_{A.T.}$ [Ω]	1,23	$R_{A.T.}$ [Ω]	1,18	$R_{A.T.}$ [Ω]	1,10
$R_{B.T.}$ [Ω]	0,23	$R_{B.T.}$ [Ω]	0,23	$R_{B.T.}$ [Ω]	0,24
$I_{B.T}$ [A]	7,60	$I_{B.T}$ [A]	7,60	$I_{B.T}$ [A]	7,60
I_{cc} [A]	3,80	I_{cc} [A]	3,80	I_{cc} [A]	3,80
P_{cc} [W]	31,08	P_{cc} [W]	30,06	P_{cc} [W]	29,96
$P_{ccTOTAL}$ [W]	91,10				

Taula 108. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 002_2

- Transformador 003

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
7,60	3,80	4,68	102,31

L1		L2		L3	
$R_{A.T.} [\Omega]$	1,14	$R_{A.T.} [\Omega]$	1,17	$R_{A.T.} [\Omega]$	1,11
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,34	$R_{B.T.} [\Omega]$	0,30	$R_{B.T.} [\Omega]$	0,27
$I_{B.T.} [A]$	7,60	$I_{B.T.} [A]$	7,60	$I_{B.T.} [A]$	7,60
$I_{cc} [A]$	3,80	$I_{cc} [A]$	3,80	$I_{cc} [A]$	3,80
$P_{cc} [W]$	36,33	$P_{cc} [W]$	34,32	$P_{cc} [W]$	31,66
$P_{ccTOTAL} [W]$		102,31			

Taula 109. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 003_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

$I_{B.T.} [A]$	$I_{cc} [A]$	$U_{cc} [V]$	$P_{cc} [W]$
7,60	3,80	4,63	105,20

L1		L2		L3	
$R_{A.T.} [\Omega]$	1,36	$R_{A.T.} [\Omega]$	1,19	$R_{A.T.} [\Omega]$	1,27
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,32	$R_{B.T.} [\Omega]$	0,30	$R_{B.T.} [\Omega]$	0,25
$I_{B.T.} [A]$	7,60	$I_{B.T.} [A]$	7,60	$I_{B.T.} [A]$	7,60
$I_{cc} [A]$	3,80	$I_{cc} [A]$	3,80	$I_{cc} [A]$	3,80
$P_{cc} [W]$	37,98	$P_{cc} [W]$	34,65	$P_{cc} [W]$	32,58
$P_{ccTOTAL} [W]$		105,20			

Taula 110. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 003_2

- Transformador 004

1.2 U2 - 1.2 U1	2.2 U2 - 2.2 U1
1.2 V2 - 1.2 V1	2.2 V2 - 2.2 V1
1.2 W2 - 1.2 W1	2.2 W2 - 2.2 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
7,60	3,80	4,37	92,83

L1		L2		L3	
$R_{A.T.}$ [Ω]	1,18	$R_{A.T.}$ [Ω]	1,24	$R_{A.T.}$ [Ω]	1,08
$R_{B.T.}$ [Ω]	0,24	$R_{B.T.}$ [Ω]	0,26	$R_{B.T.}$ [Ω]	0,23
$I_{B.T}$ [A]	7,60	$I_{B.T}$ [A]	7,60	$I_{B.T}$ [A]	7,60
I_{cc} [A]	3,80	I_{cc} [A]	3,80	I_{cc} [A]	3,80
P_{cc} [W]	31,14	P_{cc} [W]	32,77	P_{cc} [W]	28,91
$P_{ccTOTAL}$ [W]	92,83				

Taula 111. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 004_1

1.1 U2 - 1.1 U1	2.1 U2 - 2.1 U1
1.1 V2 - 1.1 V1	2.1 V2 - 2.1 V1
1.1 W2 - 1.1 W1	2.1 W2 - 2.1 W1

$I_{B.T}$ [A]	I_{cc} [A]	U_{cc} [V]	P_{cc} [W]
7,60	3,80	4,67	105,04

L1		L2		L3	
$R_{A.T.} [\Omega]$	1,85	$R_{A.T.} [\Omega]$	1,15	$R_{A.T.} [\Omega]$	1,09
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,25	$R_{B.T.} [\Omega]$	0,27	$R_{B.T.} [\Omega]$	0,28
$I_{B.T.} [A]$	7,60	$I_{B.T.} [A]$	7,60	$I_{B.T.} [A]$	7,60
$I_{cc} [A]$	3,80	$I_{cc} [A]$	3,80	$I_{cc} [A]$	3,80
$P_{cc} [W]$	41,15	$P_{cc} [W]$	32,25	$P_{cc} [W]$	31,64
$P_{ccTOTAL} [W]$		105,04			

Taula 112. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 004_2

- Transformador 005

2.12-2.11

1.12-1.11

$I_{B.T.} [A]$	$I_{cc} [A]$	$U_{cc} [V]$	$P_{cc} [W]$
13,6	6,8	3,77	48,25

$R_{A.T.} [\Omega]$	0,57
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,12
$I_{B.T.} [A]$	13,60
$I_{cc} [A]$	6,80
$P_{cc} [W]$	48,25

Taula 113. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 005_1

2.22-2.21

1.22-1.21

$I_{B.T.} [A]$	$I_{cc} [A]$	$U_{cc} [V]$	$P_{cc} [W]$
13,6	6,8	3,95	53,55

$R_{A.T.} [\Omega]$	0,60
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,14
$I_{B.T.} [A]$	13,60
$I_{cc} [A]$	6,80
$P_{cc} [W]$	53,55

Taula 114. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 005_2

- Transformador 006

2.12-2.11

1.12-1.11

$I_{B.T.} [A]$	$I_{cc} [A]$	$U_{cc} [V]$	$P_{cc} [W]$
13,6	6,8	3,62	48,45

$R_{A.T.} [\Omega]$	0,56
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,12
$I_{B.T.} [A]$	13,60
$I_{cc} [A]$	6,80
$P_{cc} [W]$	48,45

Taula 115. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 006_1

2.22-2.21

1.22-1.21

$I_{B.T.} [A]$	$I_{cc} [A]$	$U_{cc} [V]$	$P_{cc} [W]$
13,6	6,8	3,90	52,84

$R_{A.T.} [\Omega]$	0,53
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,15
$I_{B.T} [A]$	13,60
$I_{cc} [A]$	6,80
$P_{cc} [W]$	52,84

Taula 116. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 006_2

- Transformador 007

2.12-2.11

1.12-1.11

$I_{B.T} [A]$	$I_{cc} [A]$	$U_{cc} [V]$	$P_{cc} [W]$
13,6	6,8	3,93	50,11

$R_{A.T.} [\Omega]$	0,53
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,14
$I_{B.T} [A]$	13,60
$I_{cc} [A]$	6,80
$P_{cc} [W]$	50,11

Taula 117. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 007_1

2.22-2.21

1.22-1.21

$I_{B.T} [A]$	$I_{cc} [A]$	$U_{cc} [V]$	$P_{cc} [W]$
13,6	6,8	3,62	49,26

$R_{A.T.} [\Omega]$	0,54
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,13
$I_{B.T} [A]$	13,60
$I_{cc} [A]$	6,80
$P_{cc} [W]$	49,26

Taula 118. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 007_2

- Transformador 008

2.12-2.11

1.12-1.11

$I_{B.T} [A]$	$I_{cc} [A]$	$U_{cc} [V]$	$P_{cc} [W]$
13,6	6,8	3,53	47,25

$R_{A.T.} [\Omega]$	0,53
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,12
$I_{B.T} [A]$	13,60
$I_{cc} [A]$	6,80
$P_{cc} [W]$	47,25

Taula 119. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 008_1

2.22-2.21

1.22-1.21

$I_{B.T} [A]$	$I_{cc} [A]$	$U_{cc} [V]$	$P_{cc} [W]$
13,6	6,8	4,07	53,84

$R_{A.T.} [\Omega]$	0,58
$R_{B.T.} [\Omega]$	0,15
$I_{B.T.} [A]$	13,60
$I_{cc} [A]$	6,80
$P_{cc} [W]$	53,84

Taula 120. Càlcul de les pèrdues en el coure al punt nominal Trafo 008_2

1.4.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori

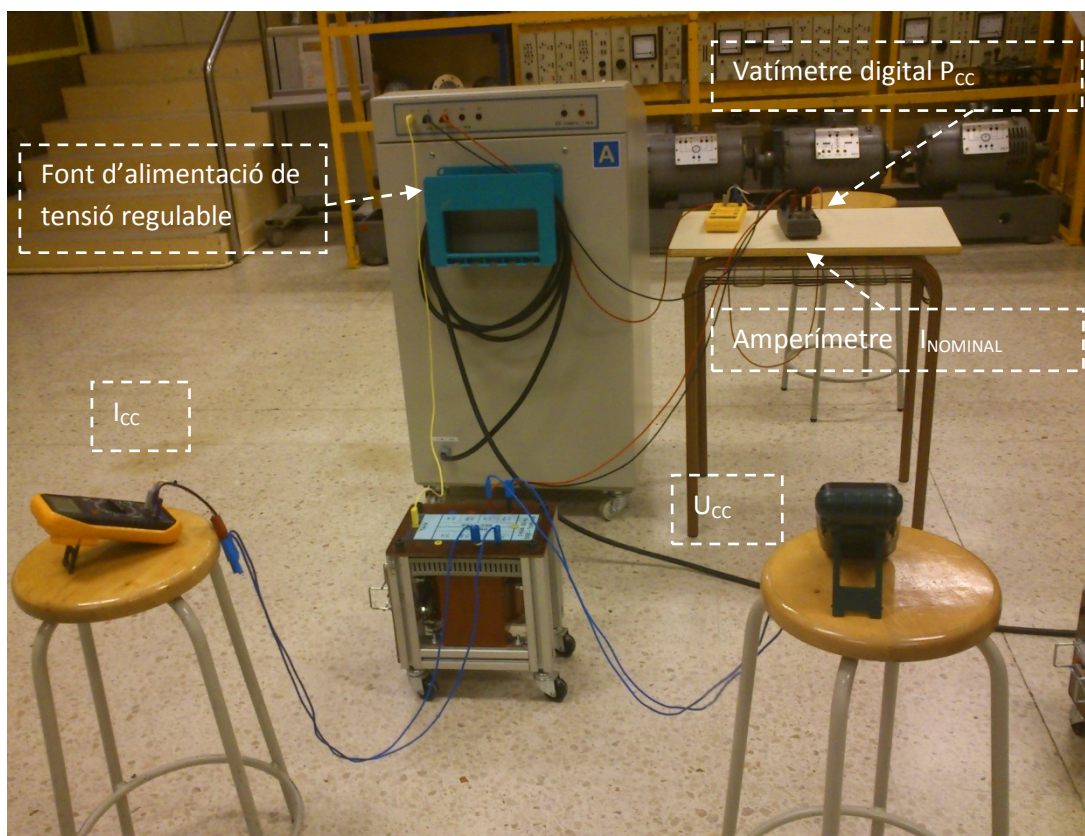


Figura 72. Mesura de la impedància de curtcircuit i les pèrdues degudes a la càrrega d'un transformador monofàsic

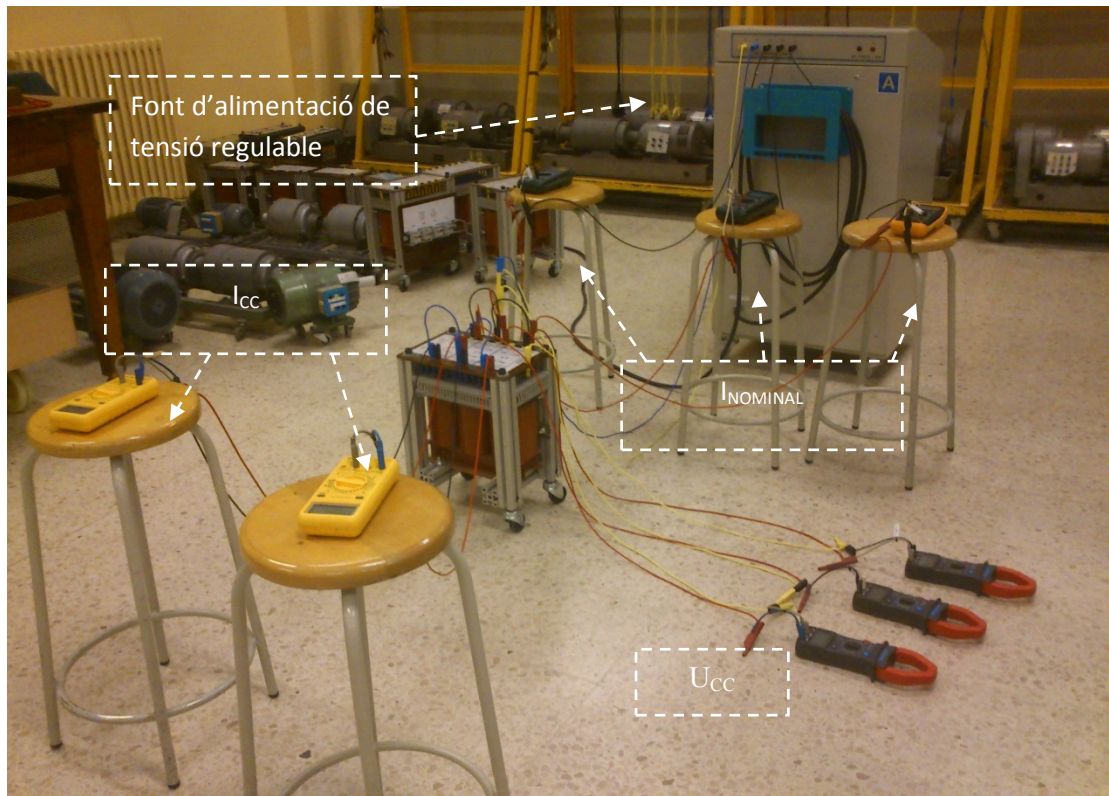


Figura 73. Mesura de la impedància de curtcircuit i les pèrdues degudes a la càrrega d'un transformador trifàsic

1.5 – Assaig d'escalfament

1.5.1 - Procediment d'obtenció de l'equació de la corba de l'escalfament

- Transformador 001

Assaig a circuit obert

El primer pas és obtenir la temperatura de servei.

Mitjançant la gràfica $\Delta\theta = f(\Delta t)$ s'obté que la màxima temperatura és:

$$\Delta\theta = 26.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_0 = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Aquesta temperatura és l'increment de temperatura, per tant se li ha de sumar la temperatura θ_0 .

$$\theta_s = \Delta\theta + \theta_0 = 26.8 + 22 = 48.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

El següent i últim pas per obtenir l'equació de l'escalfament és la constant de temps, τ .

Per trobar el valor d'aquesta, s'ha de linealitzar uns punts. S'agafen els dos primers.

Δt [min]	θ [°]
0	22
5	23.8

Amb aquests dos punts es calcula la recta que passa per ells amb les següents expressions:

$$y - y_1 = m (x - x_1)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{23.8 - 22}{5 - 0} = 0.36$$

S'obté una equació de la següent forma:

$$y = mx - x_1 + y_1 = 0.36x + 22$$

Si en aquesta equació es substitueix y , per la temperatura de servei, θ_s , i s'aïlla x , s'obté el valor de la constants temps. Serà el temps que tardarà en escalfar-se el transformador si ho fa a la velocitat inicial d'escalfament.

$$x = \frac{y + x_1 - y_1}{m} = \frac{48.8 - 22}{0.36} = 74.45 \text{ min}$$

Amb tot això ja s'està en condicions d'escriure l'equació de l'escalfament que és la següent:

$$\theta_{(t)} = (48.8 - 22) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{74.45}}\right) + 22$$

Assaig a curtcircuit

El primer pas és obtenir la temperatura de servei.

Mitjançant la gràfica $\Delta\theta = f(\Delta t)$ s'obté que la màxima temperatura és:

$$\Delta\theta = 21.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_0 = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Aquesta temperatura és l'increment de temperatura, per tant se li ha de sumar la temperatura θ_0 .

$$\theta_s = \Delta\theta + \theta_0 = 21.6 + 22 = 43.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

El següent i últim pas per obtenir l'equació de l'escalfament és la constant de temps, τ .

Per trobar el valor d'aquesta, s'ha de linealitzar uns punts. S'agafen els dos primers.

Δt [min]	θ [°]
0	22
5	24.7

Amb aquests dos punts es calcula la recta que passa per ells amb les següents expressions:

$$y - y_1 = m (x - x_1)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{24.7 - 22}{5 - 0} = 0.54$$

S'obté una equació de la següent forma:

$$y = mx - x_1 + y_1 = 0.54x + 22$$

Si en aquesta equació es substitueix y , per la temperatura de servei, θ_s , i s'aïlla x , s'obté el valor de la constants temps. Serà el temps que tardarà en escalfar-se el transformador si ho fa a la velocitat inicial d'escalfament.

$$x = \frac{y + x_1 - y_1}{m} = \frac{43.6 - 22}{0.54} = 40 \text{ min}$$

Amb tot això ja s'està en condicions d'escriure l'equació de l'escalfament que és la següent:

$$\theta_{(t)} = (43.6 - 22) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{40}}\right) + 22$$

- Transformador 005

Assaig a circuit obert

El primer pas és obtenir la temperatura de servei.

Mitjançant la gràfica $\Delta\theta = f(\Delta t)$ s'obté que la màxima temperatura és:

$$\Delta\theta = 12.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_0 = 20.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Aquesta temperatura és l'increment de temperatura, per tant se li ha de sumar la temperatura θ_0 .

$$\theta_s = \Delta\theta + \theta_0 = 12.1 + 20.7 = 32.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

El següent i últim pas per obtenir l'equació de l'escalfament és la constant de temps, τ .

Per trobar el valor d'aquesta, s'ha de linealitzar uns punts. S'agafen els dos primers.

Δt [min]	θ [°]
0	20.7
5	22.2

Amb aquests dos punts es calcula la recta que passa per ells amb les següents expressions:

$$y - y_1 = m (x - x_1)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{22.2 - 20.7}{5 - 0} = 0.3$$

S'obté una equació de la següent forma:

$$y = m(x - x_1) + y_1 = 0.3x + 20.7$$

Si en aquesta equació es substitueix y , per la temperatura de servei, θ_s , i s'aïlla x , s'obté el valor de la constant de temps. Serà el temps que tardarà en escalfar-se el transformador si ho fa a la velocitat inicial d'escalfament.

$$x = \frac{y + x_1 - y_1}{m} = \frac{32.8 - 20.7}{0.3} = 40.34 \text{ min}$$

Amb tot això ja s'està en condicions d'escriure l'equació de l'escalfament que és la següent:

$$\theta_{(t)} = (32.5 - 20.7) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{40.34}}\right) + 20.7$$

Assaig a curtcircuit

El primer pas és obtenir la temperatura de servei.

Mitjançant la gràfica $\Delta\theta = f(\Delta t)$ s'obté que la màxima temperatura és:

$$\Delta\theta = 9.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_0 = 20.7^{\circ}\text{C}$$

Aquesta temperatura és l'increment de temperatura, per tant se li ha de sumar la temperatura θ_0 .

$$\theta_s = \Delta\theta + \theta_0 = 9.8 + 20.7 = 30.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

El següent i últim pas per obtenir l'equació de l'escalfament és la constant de temps, τ .

Per trobar el valor d'aquesta, s'ha de linealitzar uns punts. S'agafen els dos primers.

Δt [min]	θ [°]
0	20.7
5	22.5

Amb aquests dos punts es calcula la recta que passa per ells amb les següents expressions:

$$y - y_1 = m (x - x_1)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{22.5 - 20.7}{5 - 0} = 0.36$$

S'obté una equació de la següent forma:

$$y = mx - x_1 + y_1 = 0.36x + 20.7$$

Si en aquesta equació es substitueix y , per la temperatura de servei, θ_s , i s'aïlla x , s'obté el valor de la constants temps. Serà el temps que tardarà en escalfar-se el transformador si ho fa a la velocitat inicial d'escalfament.

$$x = \frac{y + x_1 - y_1}{m} = \frac{43.6 - 22}{0.36} = 27.23 \text{ min}$$

Amb tot això ja s'està en condicions d'escriure l'equació de l'escalfament que és la següent:

$$\theta_{(t)} = (30.5 - 20.7) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{27.23}}\right) + 20.7$$

1.5.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori

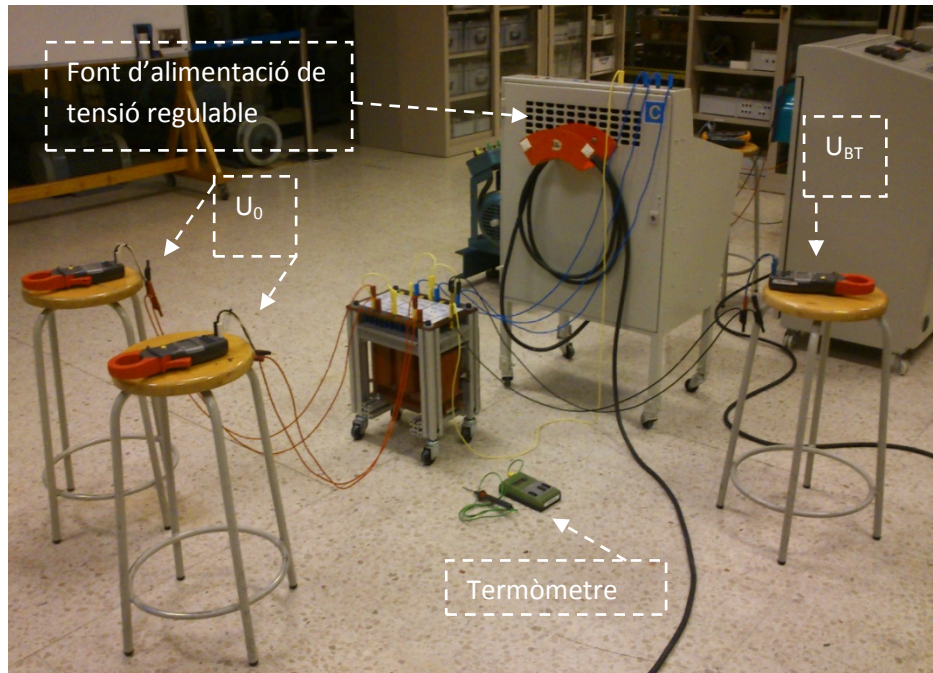


Figura 74. Assaig d'escalfament a circuit obert

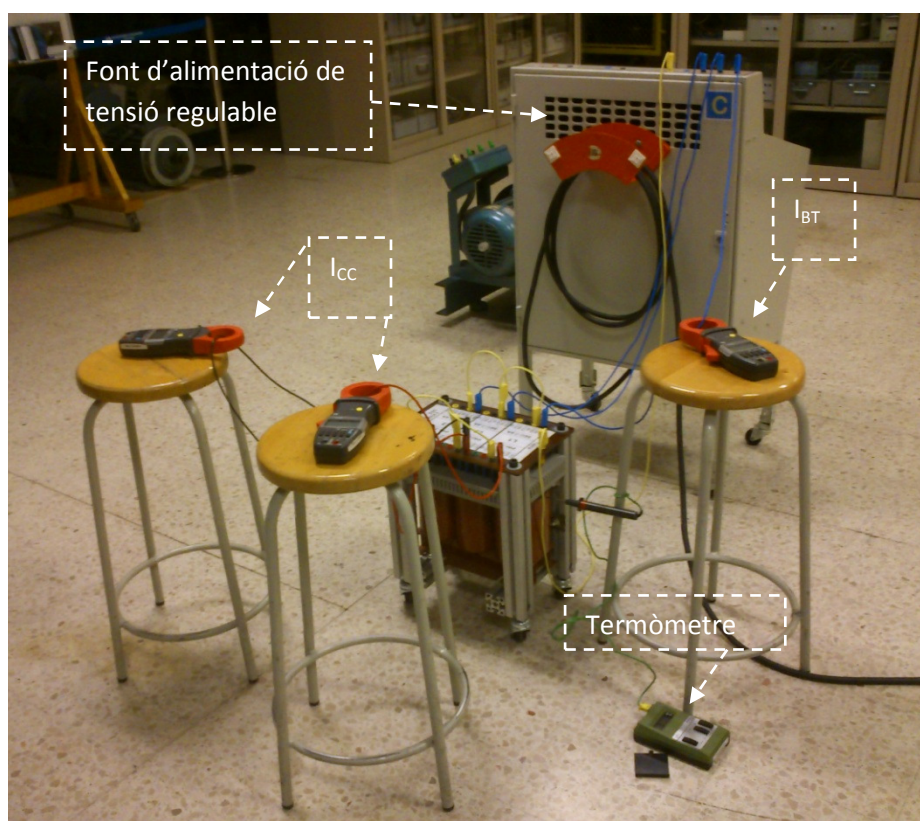


Figura 75. Assaig d'escalfament a curtcircuit

CAPÍTOL 2: MÀQUINES SÍNCRONES

2.1 – Assaig de mesura de resistències

2.1.1 – Valor de les resistències i de la influència de la temperatura

Induït			
Bobina	UX	VY	WZ
Tensió aplicada [V]	5,32	5,32	5,40
Intensitat circulant [A]	2,07	2,07	2,07
Resistència [Ω]	2,57	2,57	2,61

Induït			
Bobina	UX	VY	WZ
Rf [Ω] a 22 °C	2,57	2,57	2,61
Rf [Ω] a 70 °C	3,05	3,05	3,10

Taula 121. Valors de les resistències de l'induït a 70 °C AEG Nr 6737939

Inductor	
Bobina	IK
Tensió aplicada [V]	108,80
Intensitat circulant [A]	0,99
Resistència [Ω]	109,90

Inductor	
Bobina	IK
Rf [Ω] a 22 °C	109,90
Rf [Ω] a 70 °C	130,42

Taula 122. Valors de la resistència de l'inductor a 70 ° C AEG Nr 6737939

Induït			
Bobina	UX	VY	WZ
Tensió aplicada [V]	2,74	2,72	2,72
Intensitat circulant [A]	2,7	2,70	2,71
Resistència [Ω]	1,01	1,01	1,00

Induït			
Bobina	UX	VY	WZ
Rf [Ω] a 22 °C	1,01	1,01	1,00
Rf [Ω] a 70 °C	1,20	1,20	1,19

Taula 123. Valors de les resistències de l'induït a 70 ° C Electramolins Nr 2934/75

Inductor	
Bobina	IK
Tensió aplicada [V]	37,00
Intensitat circulant [A]	3,06
Resistència [Ω]	12,09

Inductor	
Bobina	JK
Rf [Ω] a 22 °C	12,09
Rf [Ω] a 70 °C	14,35

Taula 124. Valors de la resistència de l'inductor a 70 °C Electramolins Nr 2934/75

2.1.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori

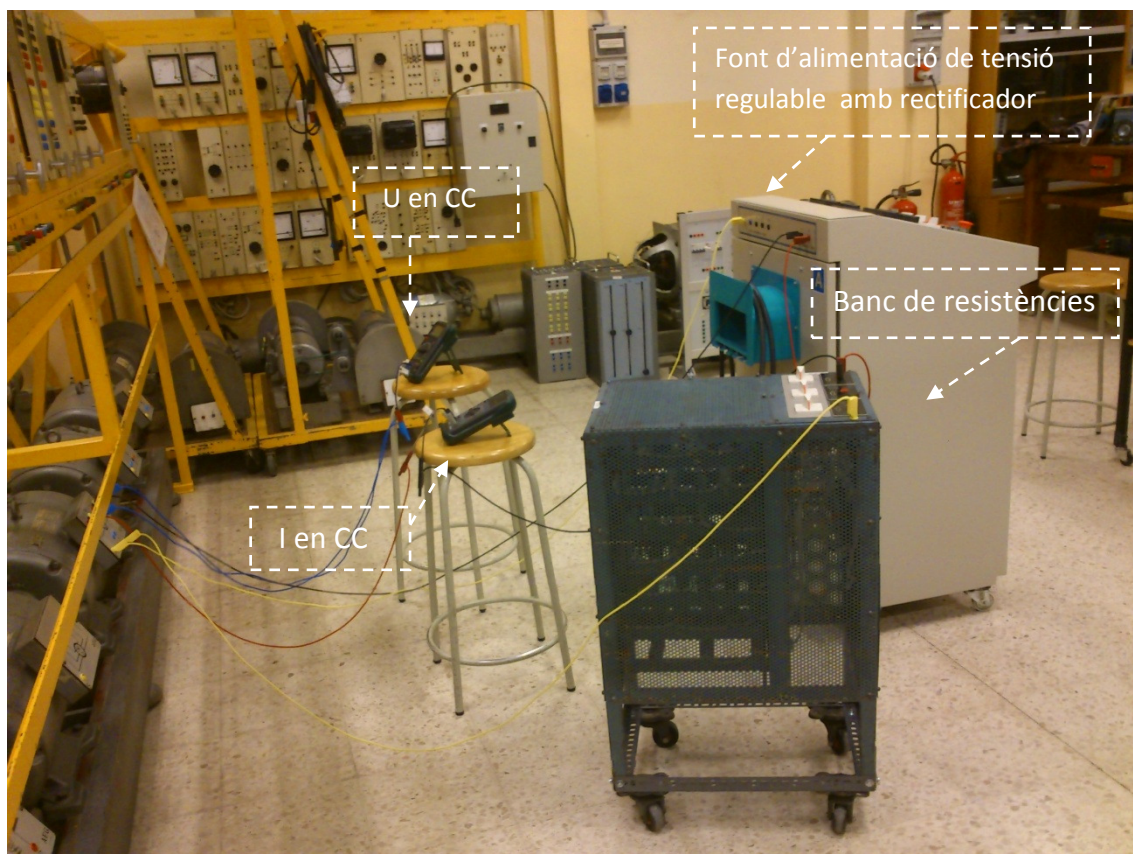


Figura 76. Mesura de les resistències del generador síncron AEG Nr 6737397

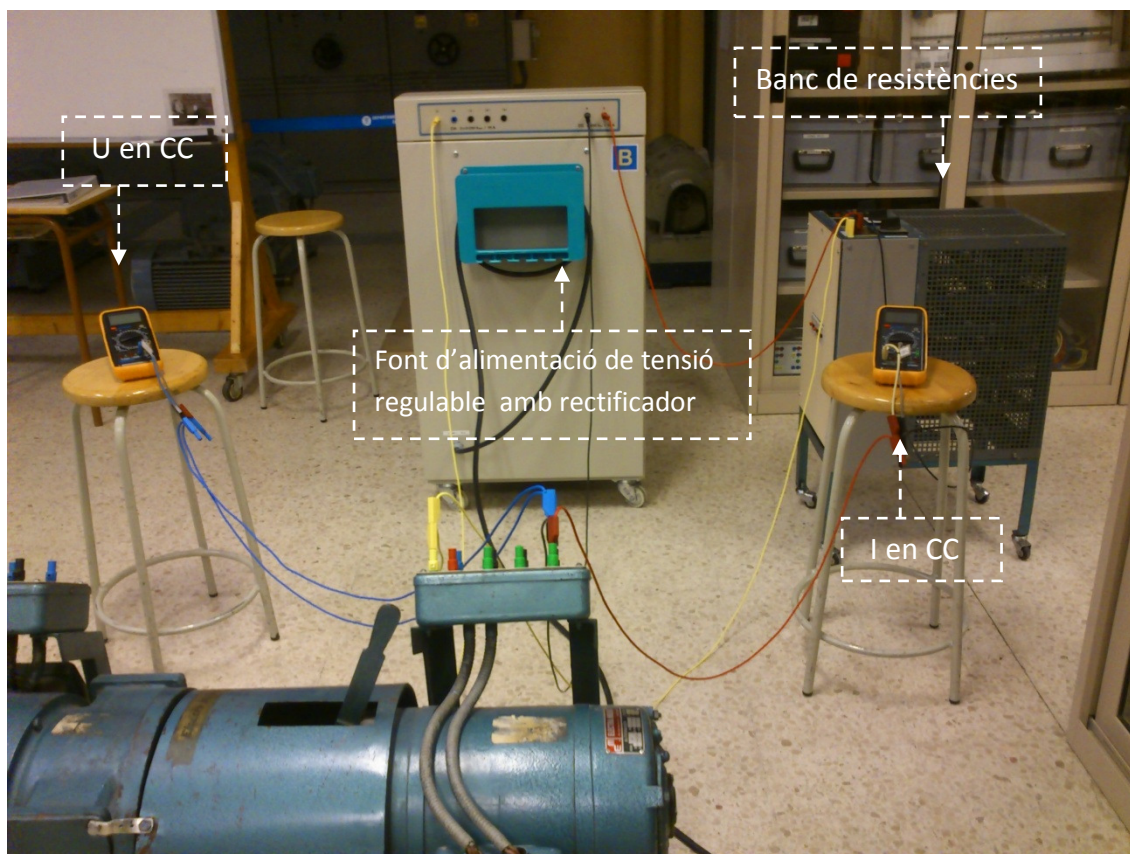


Figura 77. Mesura de les resistències del generador síncron Electramolins Nr 2934/75

2.2 – Assaig en circuit obert

2.2.1 – Dades obtingudes en l'assaig

CORBA ASCENDENT				CORBA DESCENDENT			
I_{exc} [A]	I_{exc} [%]	E_0 [V]	E_0 [%]	I_{exc} [A]	I_{exc} [%]	E_0 [V]	E_0 [%]
0	0,00	4,40	0,00	1,55	103,33	464,33	122,19
0,03	2,00	18,00	4,74	1,4	93,33	454,00	119,47
0,09	6,00	49,00	12,89	1,31	87,33	450,00	118,42
0,17	11,33	91,00	23,95	1,23	82,00	444,00	116,84
0,28	18,67	154,33	40,61	1,14	76,00	434,00	114,21
0,38	25,33	205,67	54,12	1,01	67,33	413,00	108,68
0,54	36	286,00	75,26	0,92	61,33	394,00	103,68
0,67	44,67	337,00	88,68	0,8	53,33	364,00	95,79
0,8	53,33	370,00	97,37	0,67	44,67	324,00	85,26
0,92	61,33	395,00	103,95	0,54	36,00	276,00	72,63
1,01	67,33	410,00	107,89	0,38	25,33	207,00	54,47
1,14	76,00	426,33	112,19	0,28	18,67	158,00	41,58
1,23	82,00	436,67	114,91	0,17	11,33	99,00	26,05
1,31	87,33	444,67	117,02	0,09	6,00	53,00	13,95
1,4	93,33	452,00	118,95	0,03	2,00	17,00	4,47
1,55	103,33	464,33	122,19				

Taula 125. Assaig a circuit obert AEG Nr 6737939

CORBA ASCENDENT				CORBA DESCENDENT			
I_{exc} [A]	E_{ORS} [V]	E_{OST} [V]	E_{OTR} [V]	E_{ORS} [V]	E_{OST} [V]	E_{OTR} [V]	I_{exc} [A]
0	4,3	4,4	4,5	465	464	464	1,55
0,03	17	18	19	454	454	454	1,4
0,09	48	50	49	450	450	450	1,31
0,17	90	91	92	444	444	444	1,23
0,28	153	155	155	434	434	434	1,14
0,38	205	206	206	413	413	413	1,01
0,54	286	286	286	394	394	394	0,92
0,67	337	337	337	364	364	364	0,8
0,8	370	370	370	324	324	324	0,67
0,92	395	395	395	276	276	276	0,54
1,01	410	410	410	207	207	207	0,38
1,14	427	426	426	158	158	158	0,28
1,23	437	436	437	99	99	99	0,17
1,31	445	444	445	53	53	53	0,09
1,4	452	452	452	17	17	17	0,03
1,55	465	464	464				

Taula 126. Dades obtingudes en l'assaig a circuit obert AEG Nr 6737939

CORBA ASCENDENT				CORBA DESCENDENT			
I_{exc} [A]	I_{exc} [%]	E_0 [V]	E_0 [%]	I_{exc} [A]	I_{exc} [%]	E_0 [V]	E_0 [%]
0,00	0,00	2,64	0,00	4,48	112,00	275,20	72,42
0,40	10,00	64,26	16,91	3,99	99,75	263,85	69,43
0,58	14,50	93,38	24,57	3,24	81,00	256,73	67,56
1,33	33,25	174,03	45,80	2,76	69,00	246,91	64,98
1,72	43,00	204,52	53,82	2,37	59,25	236,71	62,29
2,18	54,50	228,44	60,12	1,64	41,00	204,00	53,68
3,01	75,25	251,15	66,09	1,16	29,00	161,08	42,39
3,50	87,50	261,15	68,72	0,66	16,50	97,76	25,73
4,00	100,00	268,47	70,65	0,12	3,00	20,59	5,42
4,48	112,00	275,20	72,42				

Taula 127. Assaig a circuit obert Electramolins Nr 2934/75

CORBA ASCENDENT				CORBA DESCENDENT			
I_{exc} [A]	E_{ORS} [V]	E_{OST} [V]	E_{OTR} [V]	E_{ORS} [V]	E_{OST} [V]	E_{OTR} [V]	I_{exc} [A]
0,00	4,50	4,50	4,70	478,00	477,00	475,00	4,48
0,40	110,30	111,30	112,30	459,00	457,00	455,00	3,99
0,58	161,00	162,40	161,80	447,00	444,00	443,00	3,24
1,33	301,30	302,00	301,00	429,00	428,00	426,00	2,76
1,72	355,70	355,00	352,00	412,00	410,00	408,00	2,37
2,18	397,00	396,00	394,00	355,00	353,00	352,00	1,64
3,01	437,00	435,00	433,00	280,00	279,00	278,00	1,16
3,50	454,00	452,00	451,00	170,00	169,00	169,00	0,66
4,00	467,00	465,00	463,00	37,00	35,00	35,00	0,12
4,48	478,00	477,00	475,00				

Taula 128. Dades obtingudes en l'assaig a circuit obert Electramolins Nr 2934/75

2.2.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori

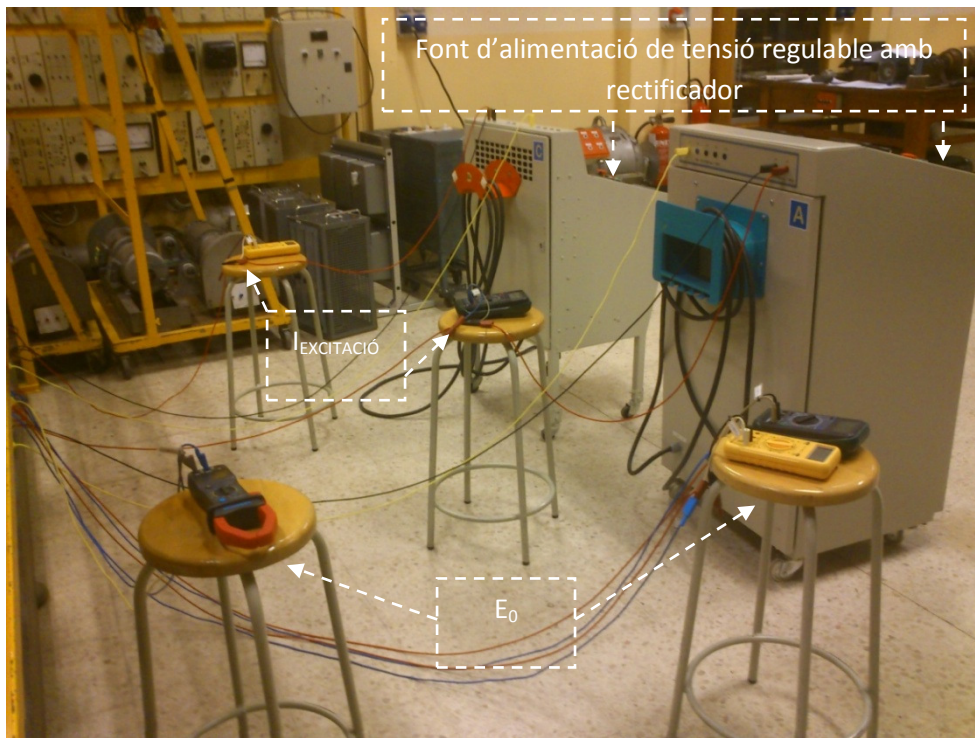


Figura 78. Obtenció de la característica en circuit obert del generador síncron AEG Nr 6737939

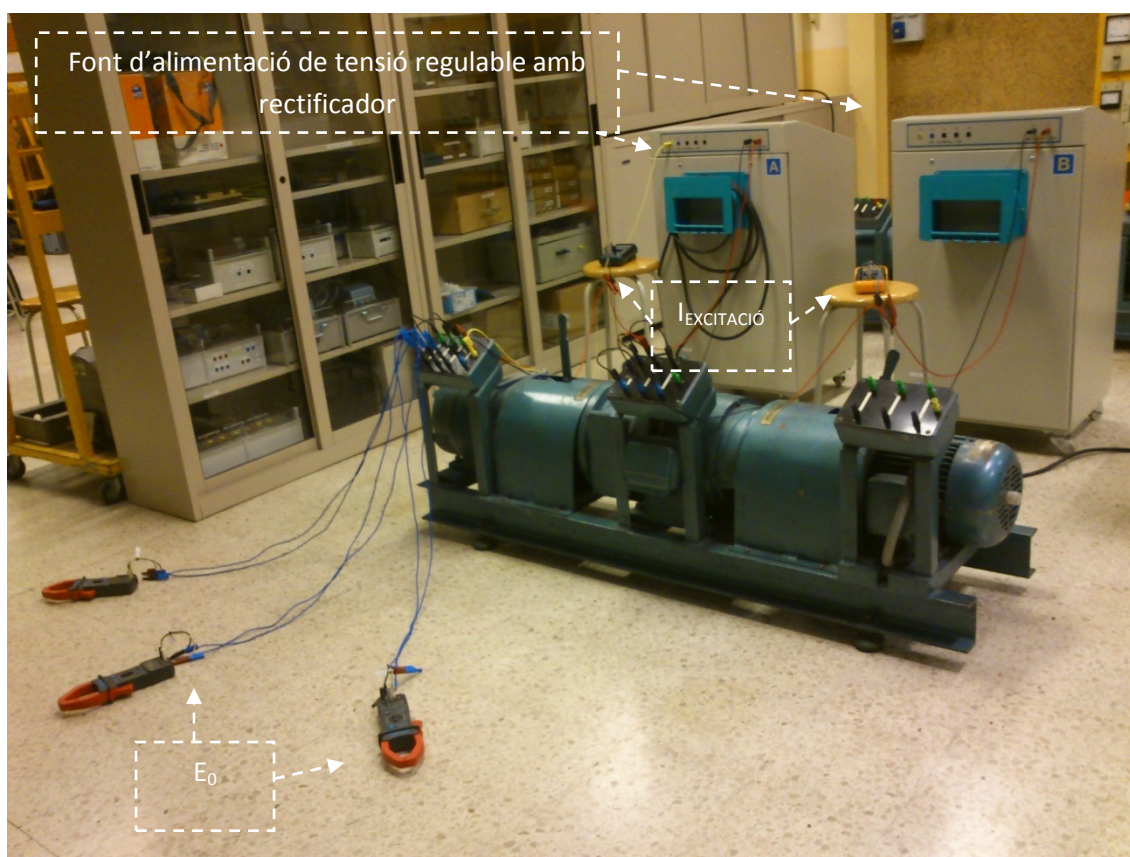


Figura 79. Obtenció de la característica en circuit obert del generador síncron Electramolins Nr 2934/75

2.3 – Assaig de curtcircuit permanent

2.3.1 – Dades obtingudes en l'assaig

$I_{\text{EXCITACIÓ}} \text{ [A]}$	$I_{\text{CCRS}} \text{ [A]}$	$I_{\text{CCST}} \text{ [A]}$	$I_{\text{CCTR}} \text{ [A]}$
0	0	0	0
0,26	1,61	1,56	1,59
0,37	2,31	2,24	2,28
0,57	3,54	3,43	3,49
0,84	5,22	5,05	5,14

Taula 129. Assaig de curtcircuit permanent AEG Nr 6737939

$I_{\text{EXCITACIÓ}} \text{ [A]}$	$I_{\text{CCRS}} \text{ [A]}$	$I_{\text{CCST}} \text{ [A]}$
0,49	2,06	2,13
0,83	3,46	3,63
1,45	6,13	6,4
1,89	8,06	8,4

Taula 130. Assaig de curtcircuit permanent Electramolins 2934/75

2.3.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori

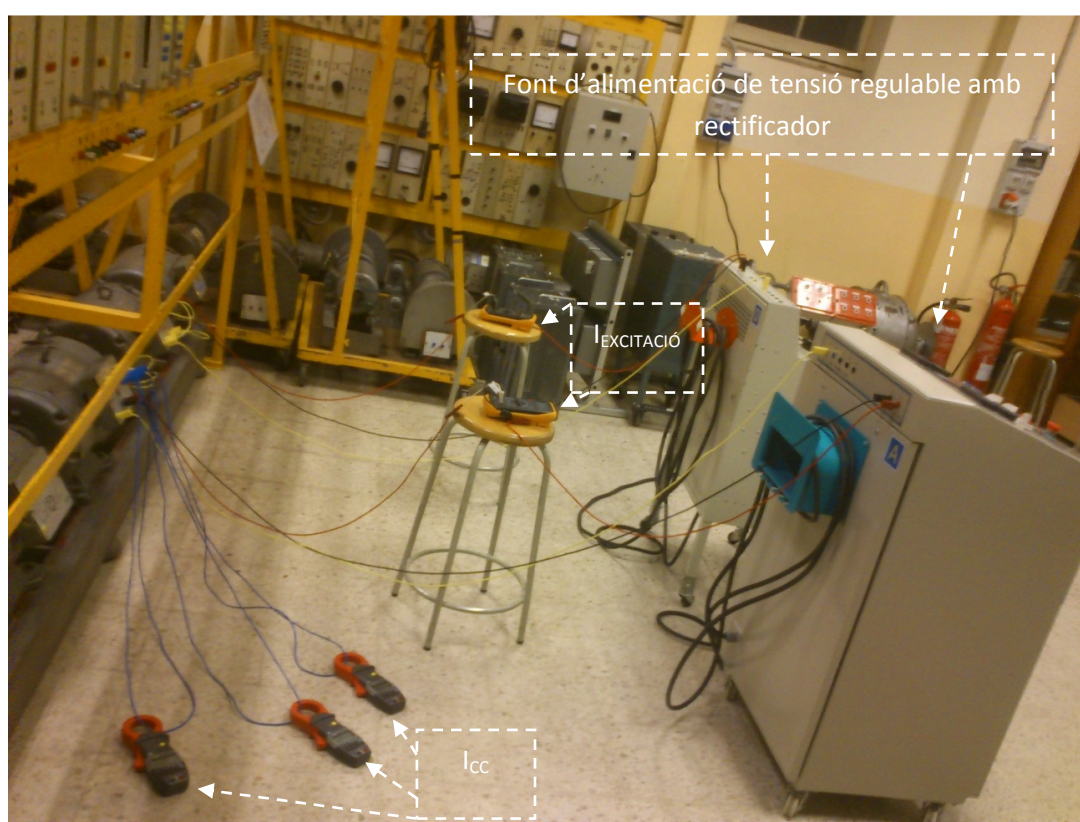


Figura 80. Obtenció de la característica de curtcircuit del generador síncron AEG Nr 6737939

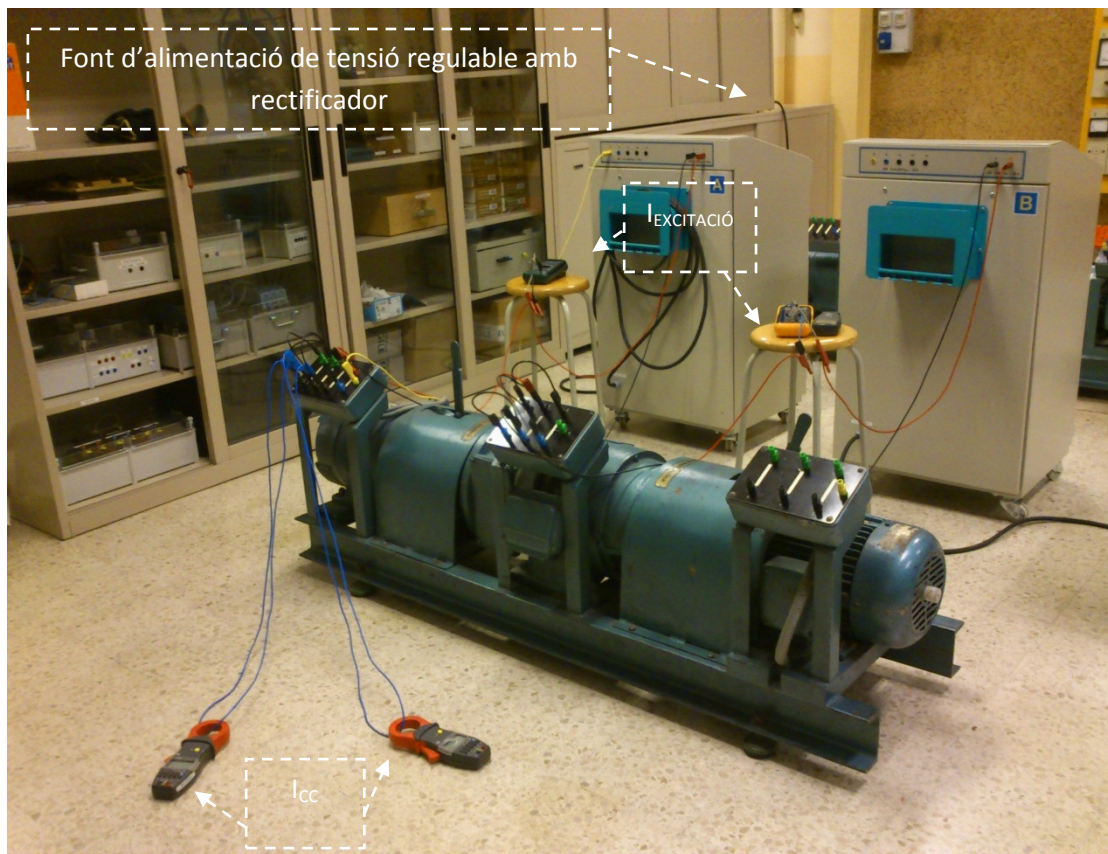


Figura 81. Obtenció de la característica de curtcircuit del generador síncron Electramolins 2934/75

2.4 – Assaig amb factor de potència zero

2.4.1 – Dades obtingudes en l'assaig

$I_{\text{EXCITACIÓ}} [\text{A}]$	$U_{\text{BORN SR}} [\text{V}]$	$U_{\text{BORN SS}} [\text{V}]$	$U_{\text{BORN ST}} [\text{V}]$	$I_{\text{INDUÏ TR}} [\text{A}]$	$I_{\text{INDUÏ TS}} [\text{A}]$	$I_{\text{INDUÏ TT}} [\text{A}]$
0,08	8,30	8,20	8,30	0,21	0,22	0,21
0,17	20,20	20,20	20,20	0,58	0,55	0,57
0,28	33,40	33,40	33,40	0,97	0,94	0,96
0,37	45,70	45,70	45,70	1,35	1,33	1,30
0,45	55,10	55,20	54,80	1,63	1,58	1,61
0,54	66,80	66,80	66,20	1,95	1,92	1,98
0,63	78,60	77,90	78,60	2,34	2,27	2,31
0,72	89,70	89,00	89,90	2,63	2,59	2,67
0,83	103,40	102,60	103,80	3,08	3,00	3,04
0,94	117,20	116,30	117,40	3,49	3,40	3,45
1,02	126,6	125,80	126,00	3,79	3,70	3,76
1,13	139,10	138,30	138,80	4,16	4,08	4,16
1,22	150,10	149,70	148,90	4,48	4,41	4,50
1,32	160,90	159,30	159,90	4,80	4,74	4,85
1,42	169,6	168,2	169	5,18	5,05	5,12

Taula 131. Dades assaig amb factor de potència zero AEG Nr 6737939

$I_{\text{EXCITACIÓ}} [\text{A}]$	$U_{\text{BORN SR}} [\text{V}]$	$U_{\text{BORN SS}} [\text{V}]$	$U_{\text{BORN ST}} [\text{V}]$	$I_{\text{INDUÏ TR}} [\text{A}]$	$I_{\text{INDUÏ TS}} [\text{A}]$	$I_{\text{INDUÏ TT}} [\text{A}]$
0,17	15,00	14,00	13,00	0,42	0,40	0,36
0,51	40,00	39,00	39,00	1,14	1,12	1,24
0,85	87,00	87,00	86,00	2,50	2,47	2,68
1,08	128,00	127,00	127,00	3,72	3,63	3,99
1,80	164,00	163,00	162,00	4,82	4,77	5,23
2,79	188,00	187,00	186,00	5,57	5,56	6,16
3,19	203,00	203,00	201,00	6,19	6,12	6,77

Taula 132. Dades assaig amb factor de potència zero Electramolins Nr 2934/75



Figura 83. Obtenció de la característica de reactiva del generador síncron Electramolins 2934/75

CAPÍTOL 3: MÀQUINES ASÍNCRONES

3.1 – Assaig de mesura de les resistències de l'estator

3.1.1 – Dades obtingudes en l'assaig

Estator			
Bobina	U ₁ U ₂	V ₁ V ₂	W ₁ W ₂
Tensió aplicada [V]	14,2	14,2	14,1
Intensitat circulant [A]	0,78	0,78	0,78
Resistència [Ω]	18,21	18,21	18,08

Bobina	U ₁ U ₂	V ₁ V ₂	W ₁ W ₂
R _f [Ω] a 22 °C	18,21	18,21	18,08
R _f [Ω] a 70 °C	21,61	21,61	21,45

Taula 133. Valors de les resistències estatòriques a 70 °C AM80K6

Estator			
Bobina	U ₁ U ₂	V ₁ V ₂	W ₁ W ₂
Tensió aplicada [V]	13,9	14	14
Intensitat circulant [A]	1,06	1,07	1,06
Resistència [Ω]	13,11	13,08	13,21

Bobina	U ₁ U ₂	V ₁ V ₂	W ₁ W ₂
R _f [Ω] a 22 °C	13,11	13,08	13,21
R _f [Ω] a 70 °C	15,56	15,53	15,67

Taula 134. Valors de les resistències estatòriques a 70 ° C AM80N6

3.1.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori



Figura 84. Mesura de les resistències estatòriques de la màquina asíncrona

3.2 – Assaig de buit o de rotor lliure

3.2.1 – Dades obtingudes en l'assaig

U_R [V]	U_S [V]	U_T [V]	I_{OR} [A]	I_{OS} [A]	I_{OT} [A]	P_{OR} [W]
243,00	245,00	243,00	2,16	2,33	2,41	260,00
231,00	231,00	232,00	1,85	1,97	2,04	205,00
220,00	221,00	220,00	1,70	1,82	1,89	180,00
213,00	215,00	213,00	1,49	1,61	1,69	155,00
200,00	200,00	202,00	1,32	1,41	1,48	129,00
184,00	184,00	186,00	1,13	1,23	1,27	103,00
170,00	171,00	170,00	1,00	1,07	1,15	86,00
156,00	155,00	157,00	0,87	0,95	1,00	72,00
140,00	139,00	141,00	0,74	0,81	0,88	57,00
123,00	122,00	124,00	0,63	0,69	0,75	45,00
111,00	109,00	111,00	0,55	0,59	0,66	37,00
92,00	90,00	92,00	0,43	0,47	0,54	27,00
82,00	80,00	82,00	0,36	0,42	0,49	23,00
68,00	66,00	68,00	0,29	0,33	0,41	17,00
54,00	51,00	54,00	0,21	0,26	0,33	14,00
44,00	44,00	41,00	0,17	0,21	0,30	11,00

Taula 135. Dades obtingudes en l'assaig de buit AM80K6

Bobina	UX	VY	WZ
Resistència [Ω]	18,21	18,21	18,08

P_{cuOR} [W]	P_{cuOS} [W]	P_{cuOT} [W]
32,10	32,10	31,88
23,15	23,15	22,99
19,73	19,73	19,60
15,47	15,47	15,36
11,95	11,95	11,87
8,88	8,88	8,82
6,99	6,99	6,94
5,36	5,36	5,32
3,98	3,98	3,95
2,89	2,89	2,87
2,18	2,18	2,17
1,40	1,40	1,39

1,09	1,09	1,08
0,72	0,72	0,71
0,43	0,43	0,43
0,31	0,31	0,31
0,00	0,00	0,00

Taula 136. Obtenció de les pèrdues en el coure en l'assaig de buit AM80K6

U_R [V]	U_S [V]	U_T [V]	I_{OR} [A]	I_{OS} [A]	I_{OT} [A]	P_0 [W]
242,00	241,00	240,00	2,86	3,01	3,06	444,00
232,00	233,00	233,00	2,58	2,75	2,79	356,09
221,00	222,00	222,00	2,27	2,38	2,45	277,79
205,00	206,00	205,00	1,87	2,02	2,03	212,81
190,00	190,00	190,00	1,59	1,74	1,77	167,64
175,00	175,00	175,00	1,39	1,53	1,56	136,33
159,00	158,00	158,00	1,20	1,30	1,33	106,31
144,00	144,00	143,00	1,05	1,14	1,15	82,22
130,00	129,00	128,00	0,89	0,97	1,02	61,71
114,00	114,00	113,00	0,77	0,83	0,86	47,21
99,00	98,00	97,00	0,62	0,69	0,73	30,51
84,00	83,00	82,00	0,53	0,56	0,59	24,07
71,00	71,00	69,00	0,42	0,47	0,51	16,19
52,00	52,00	50,00	0,31	0,32	0,37	10,41
44,00	45,00	43,00	0,25	0,27	0,31	9,94

Taula 137. Dades obtingudes en l'assaig de buit AM80N6

Bobina	UX	VY	WZ
Resistència [Ω]	13,11	13,08	13,21

P_{cu0R} [W]	P_{cu0S} [W]	P_{cu0T} [W]
38,73	38,64	39,01
32,02	31,95	32,25
24,48	24,43	24,66
17,02	16,98	17,14
12,63	12,60	12,72
9,75	9,73	9,82
7,12	7,11	7,18
5,42	5,41	5,46
4,03	4,02	4,06
2,94	2,93	2,96
2,02	2,02	2,04
1,37	1,37	1,38
0,95	0,95	0,96
0,49	0,48	0,49
0,33	0,33	0,34

Taula 138. Obtenció de les pèrdues en el coure en l'assaig de buit AM80N6

3.2.2 – Fotografies del muntatge realitzat en el laboratori

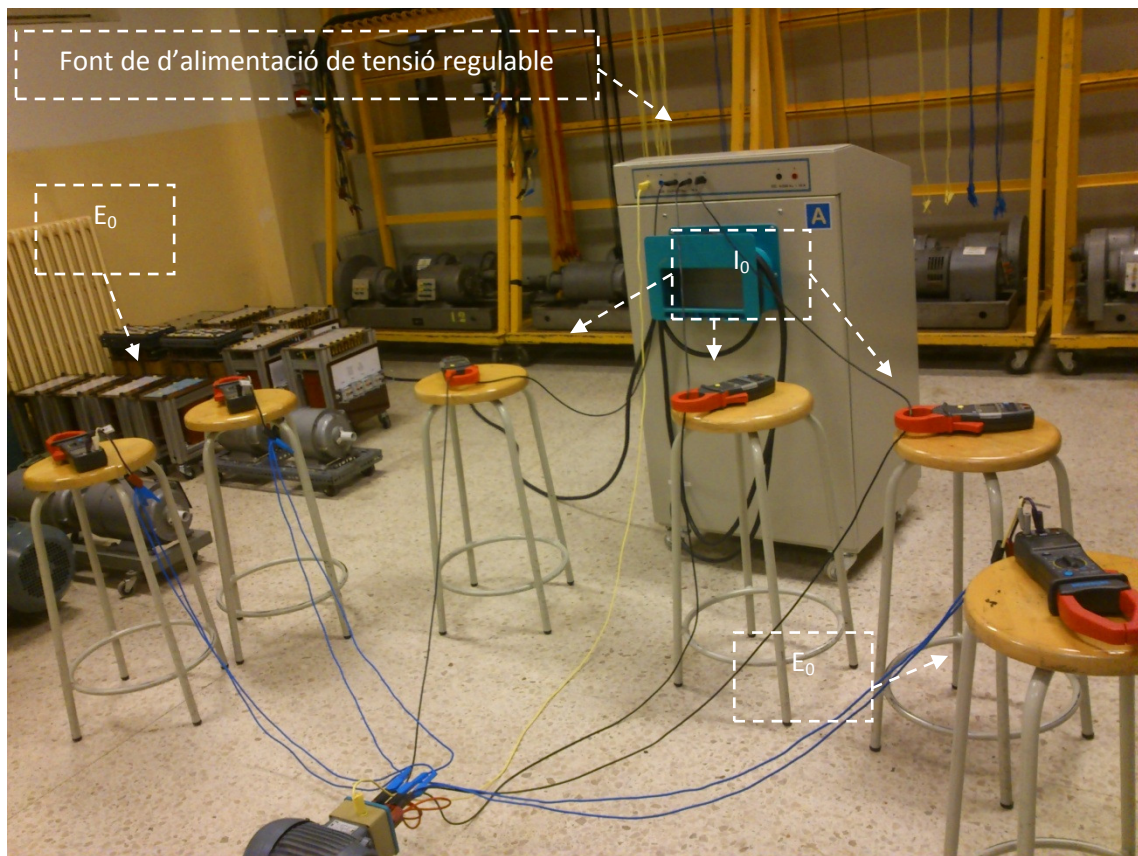


Figura 85. Assaig en buit de la màquina asíncrona

3.3 – Assaig de rotor bloquejat

3.3.1 – Dades obtingudes en l'assaig

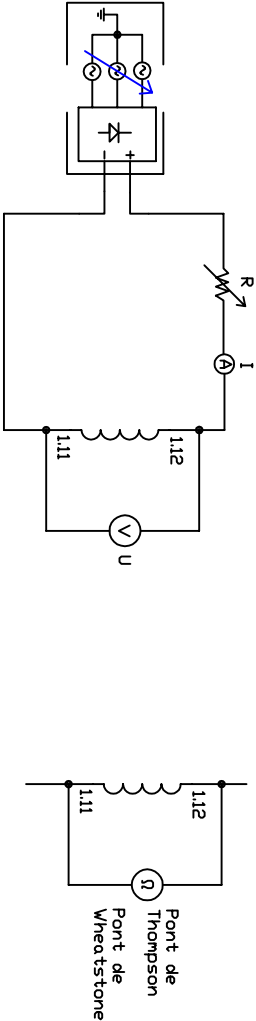
$U_{\text{reduïdaR}} [V]$	$U_{\text{reduïdaS}} [V]$	$U_{\text{reduïdaT}} [V]$	$I_R [A]$	$I_S [A]$	$I_T [A]$	$P_{\text{potència}} [W]$
93,00	95,00	95,00	3,16	3,13	3,32	402,00
86,00	88,00	88,00	2,86	2,83	3,00	340,00
79,00	81,00	81,00	2,67	2,59	2,76	286,00
76,00	75,00	77,00	2,45	2,43	2,59	258,00
65,00	67,00	67,00	2,13	2,10	2,25	196,00
61,00	59,00	61,00	1,92	1,91	2,05	163,00
54,00	56,00	56,00	1,75	1,74	1,87	136,00
46,00	49,00	49,00	1,51	1,51	1,65	130,00
31,00	40,00	40,00	1,22	1,22	1,35	69,00
28,00	26,00	29,00	0,85	0,85	0,95	36,00
17,00	19,00	20,00	0,56	0,56	0,66	17,00
10,00	12,00	14,00	0,37	0,35	0,46	4,00
3,00	1,00	5,00	0,12	0,13	0,20	2,00

Taula 139. Assaig de rotor bloquejat AM80K6

$U_{\text{reduïdaR}} [V]$	$U_{\text{reduïdaS}} [V]$	$U_{\text{reduïdaT}} [V]$	$I_R [A]$	$I_S [A]$	$I_T [A]$	$P_{\text{potència}} [W]$
101,00	103,00	103,00	4,58	4,64	4,34	629,00
96,00	99,00	98,00	4,41	4,15	4,09	566,00
88,00	90,00	90,00	4,00	3,78	3,72	473,00
79,00	81,00	81,00	3,57	3,36	3,33	380,00
68,00	70,00	70,00	3,04	2,97	2,83	278,00
61,00	63,00	63,00	2,74	2,59	2,54	226,00
55,00	56,00	56,00	2,44	2,30	2,27	182,00
47,00	49,00	49,00	2,12	1,96	1,95	137,00
38,00	41,00	40,00	1,76	1,62	1,59	92,00
32,00	34,00	34,00	1,49	1,35	1,35	67,00
25,00	27,00	27,00	1,20	1,07	1,08	43,00
17,00	18,00	19,00	0,83	0,72	0,74	20,00
13,00	15,00	15,00	0,67	0,56	0,58	5,00

Taula 140. Assaig de rotor bloquejat AM80N6

ESQUEMES



Altres bobines a mesurar
1.22 - 1.21
2.12 - 2.11
2.22 - 2.21

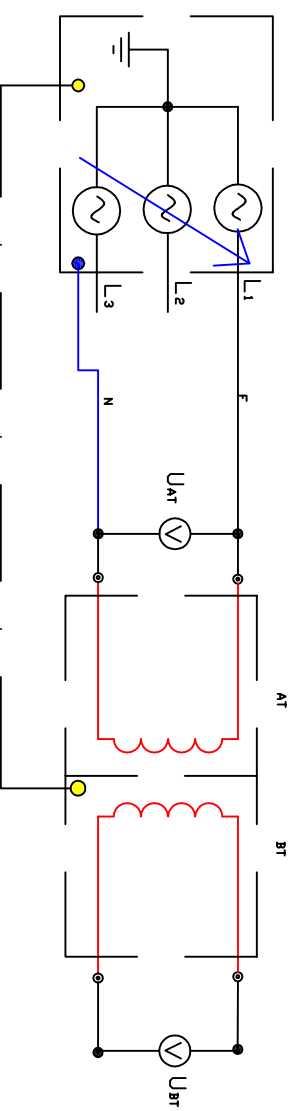
MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

Grau en Enginyeria Elèctrica



10 de Juny de 2013



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

Grau en Enginyeria Elèctrica

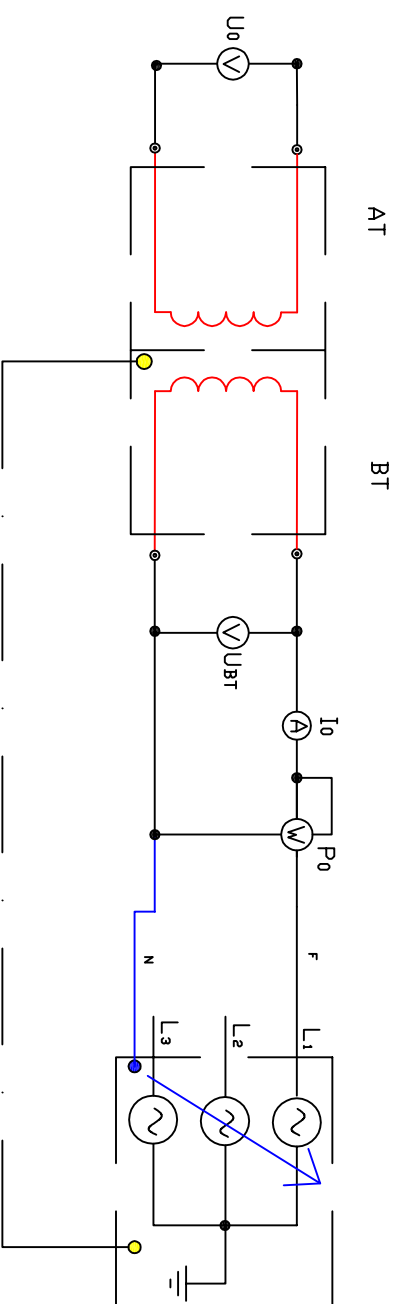


10 de Juny de 2013

Número

Mesura de la relació de transformació d'un transformador monofàsic

2



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

Grau en Enginyeria Elèctrica

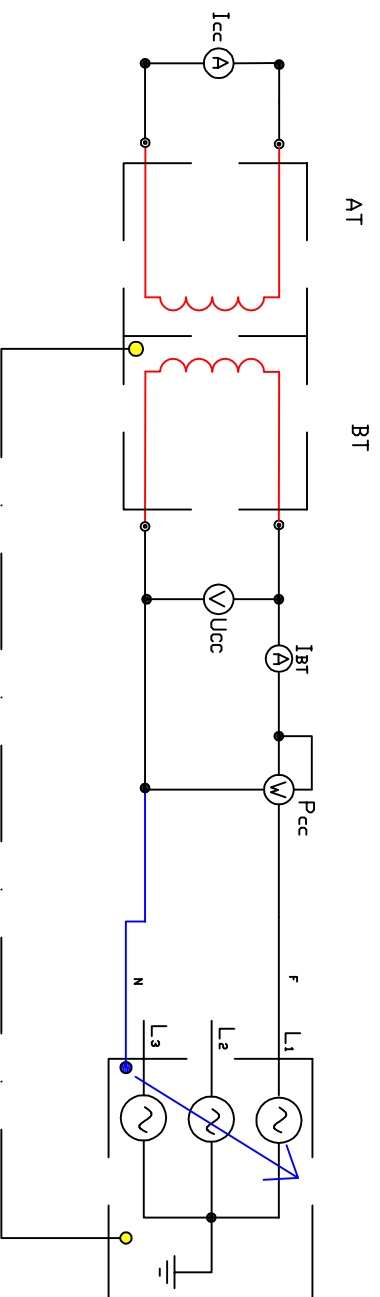


10 de Juny de 2013

Número

3

Mesura de les pèrdues i del corrent de buit en un transformador monofàsic



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

Grau en Enginyeria Elèctrica



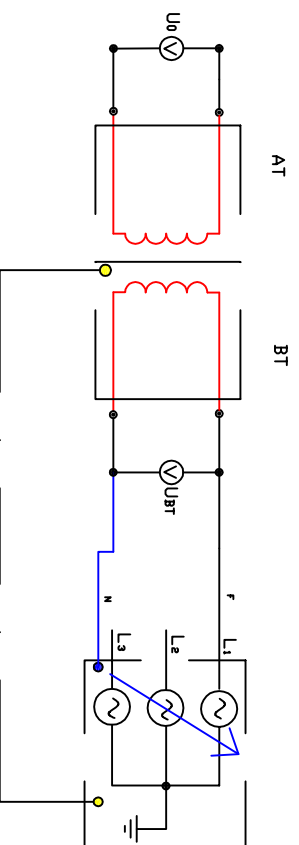
10 de Juny de 2013

Número

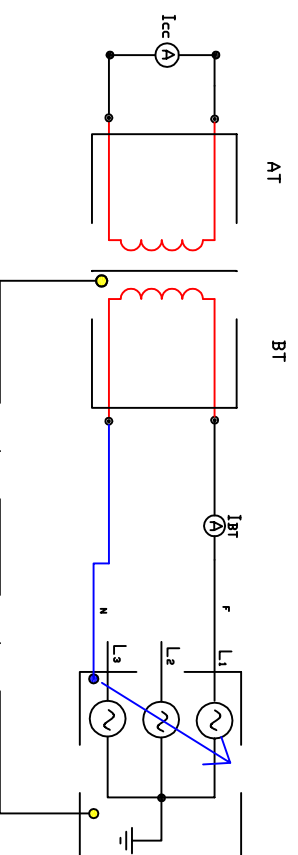
4

Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega d'un transformador monofàsic

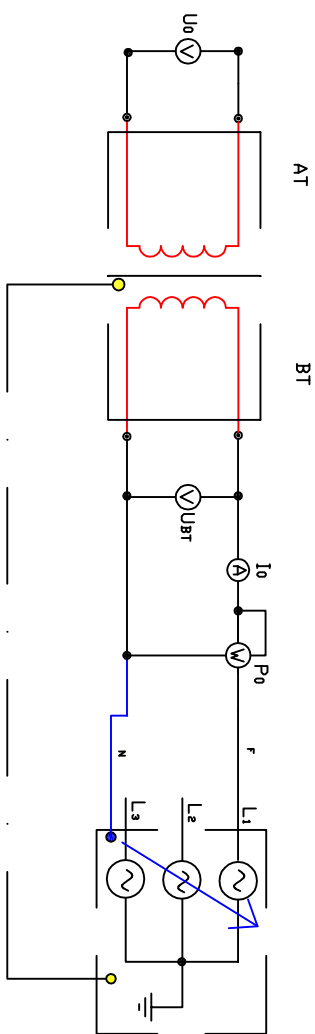
Assaig a circuit obert



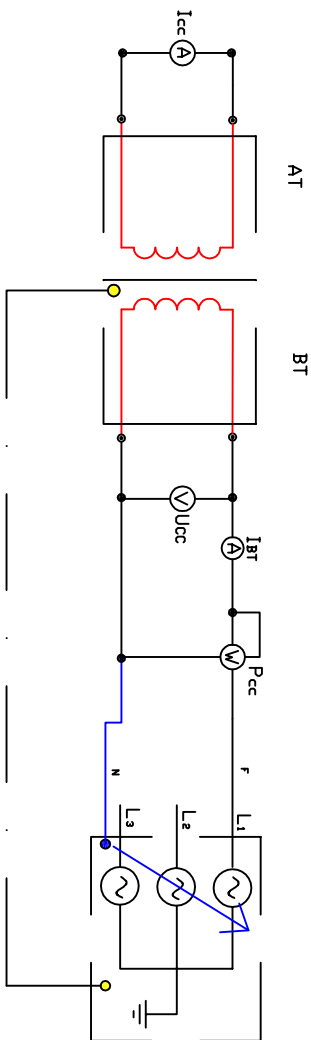
Assaig amb un debanat curtcircuitat

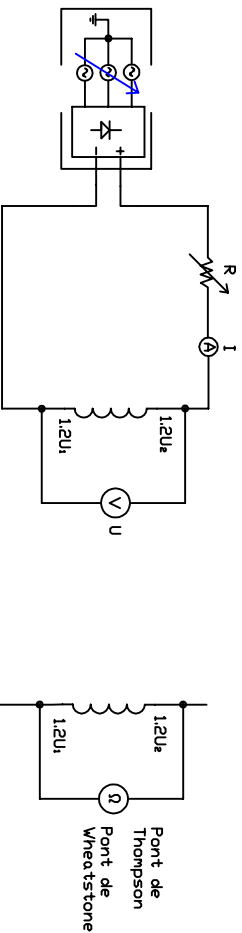


Assaig a circuit obert



Assaig amb un debanat curtcircuitat





Altres bobines a mesurar		
U	V	W
—	1.2 V ₂ - 1.2V ₁	1.2 W ₂ - 1.2W ₁
2.2 U ₂ - 2.2U ₁	2.2 U ₂ - 2.2U ₁	2.2 W ₂ - 2.2W ₁
1.1 U ₂ - 1.1U ₁	1.1 V ₂ - 1.1V ₁	1.1 W ₂ - 1.1W ₁
2.1 U ₂ - 2.1U ₁	2.1 V ₂ - 2.1V ₁	2.1 W ₂ - 2.1W ₁

MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

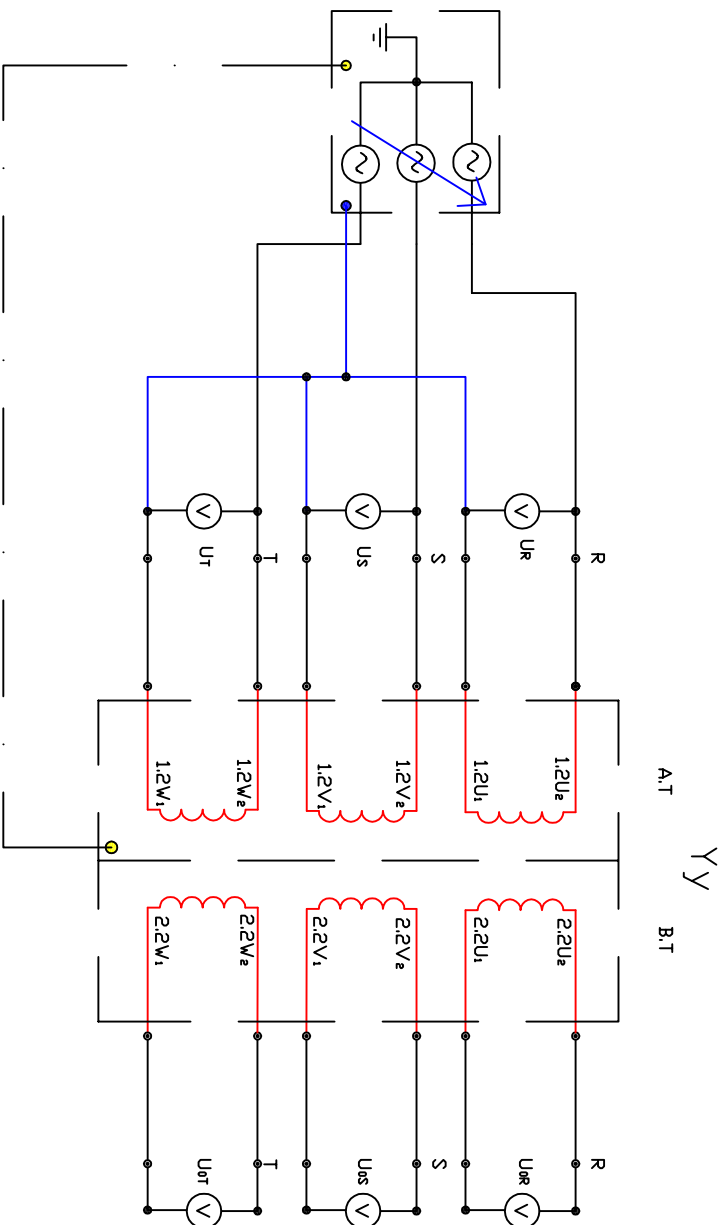
Grau en Enginyeria Elèctrica



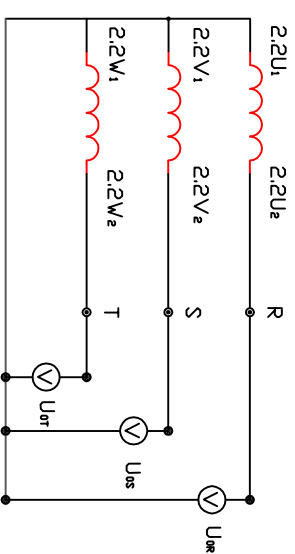
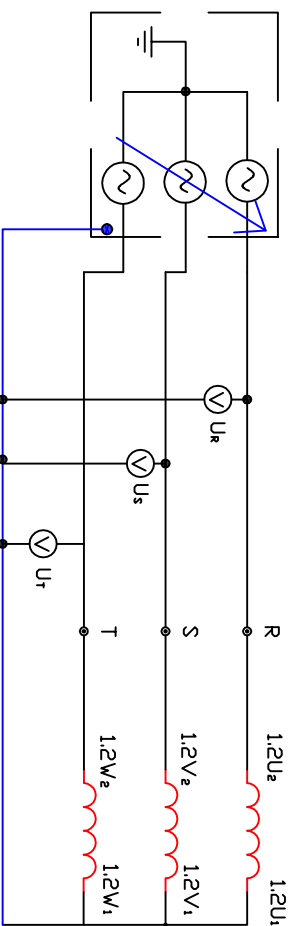
10 de Juny de 2013

Número

Mesura de resistències dels debanats d'un transformador trifàsic.



A.T Y Y B.T



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

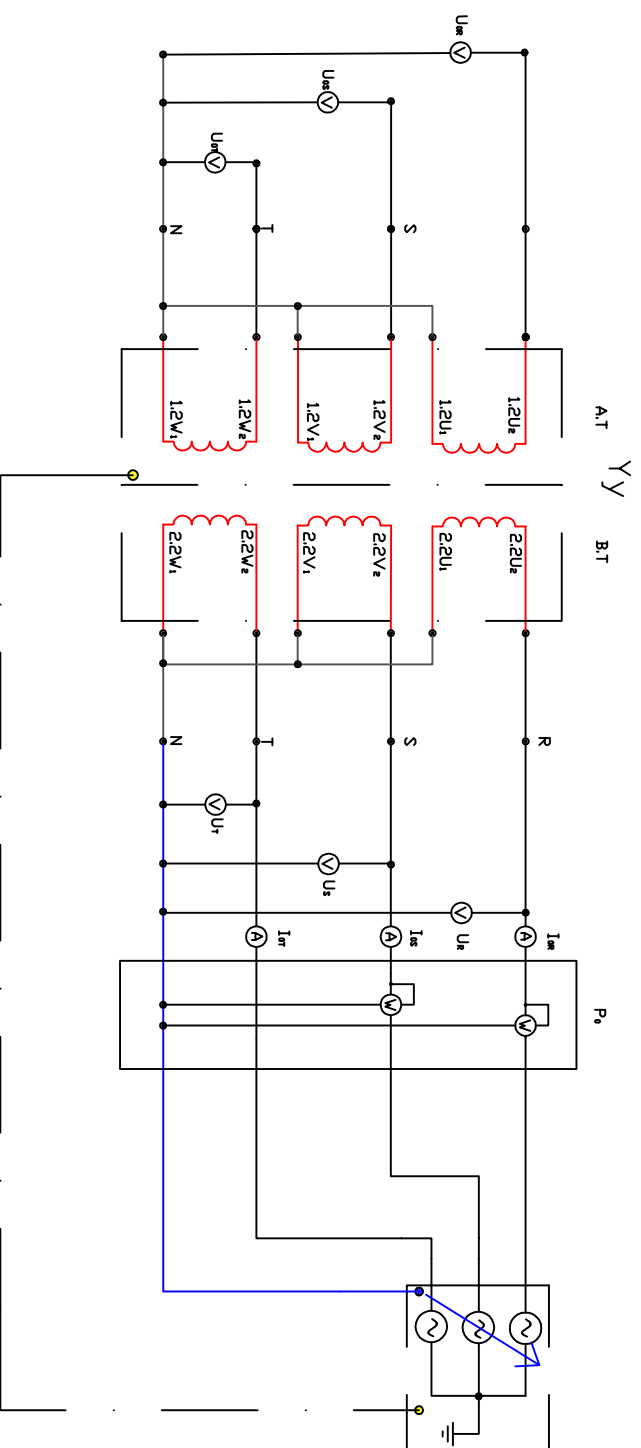
Grau en Enginyeria Elèctrica



10 de Juny de 2013

Número

Mesura de la relació de transformació d'un transformador trifàsic. Muntatge segons normativa.



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

Grau en Enginyeria Elèctrica

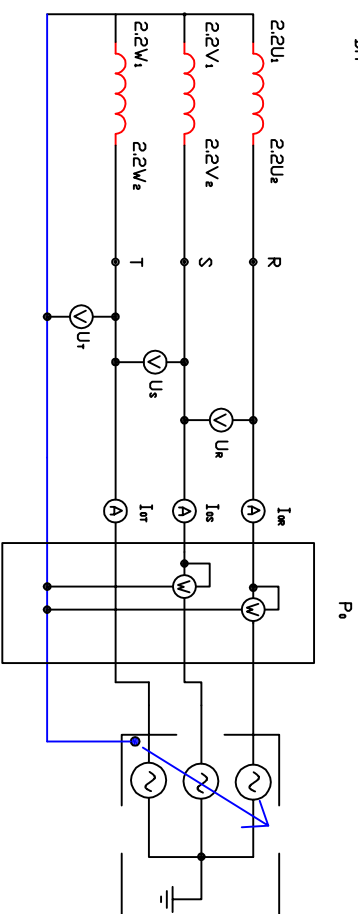
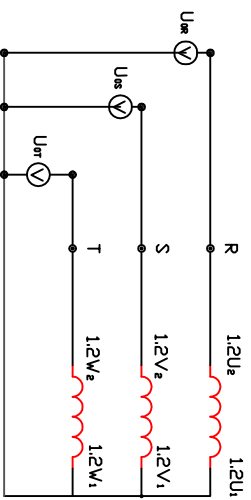


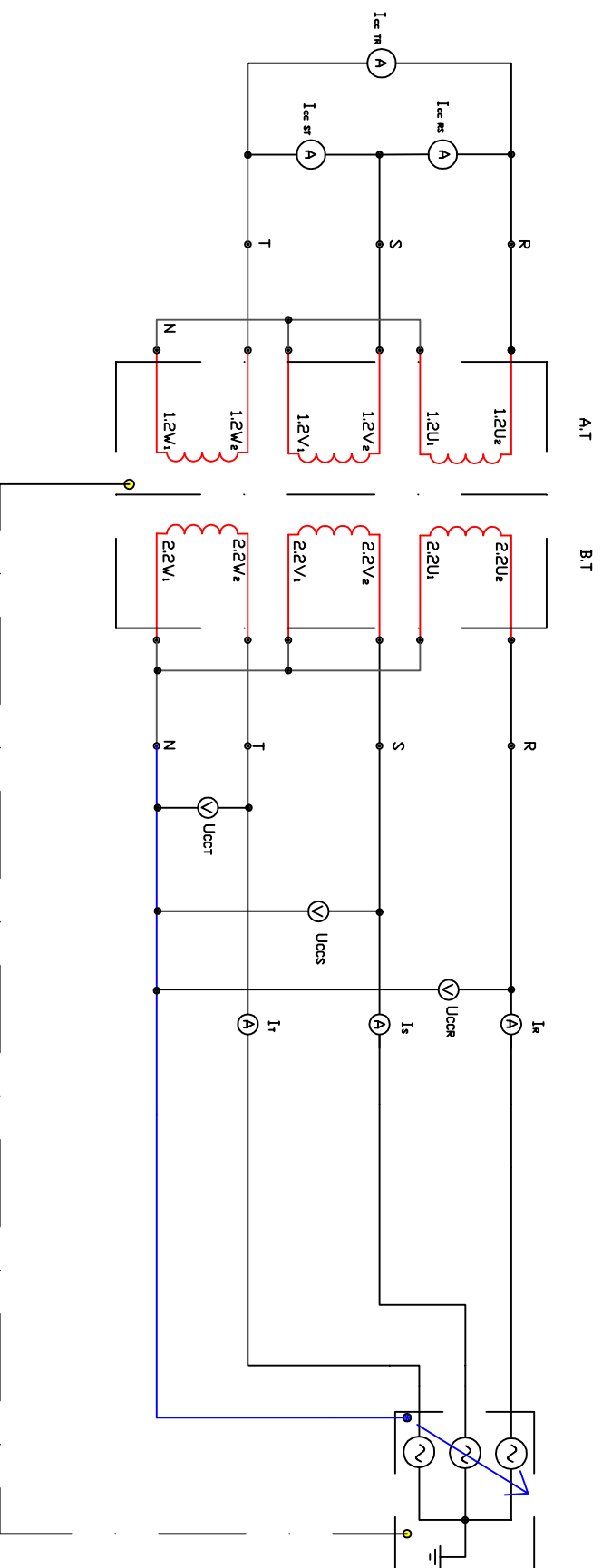
10 de Juny de 2013

Número

Mesura de les pèrdues i del corrent de buit d'un transformador trifàsic. Muntatge realitzat en el laboratori.

A.T Y B.T



χ^2 

MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

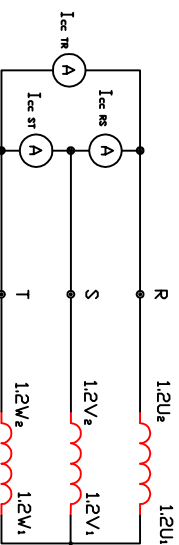
Grau en Enginyeria Elèctrica



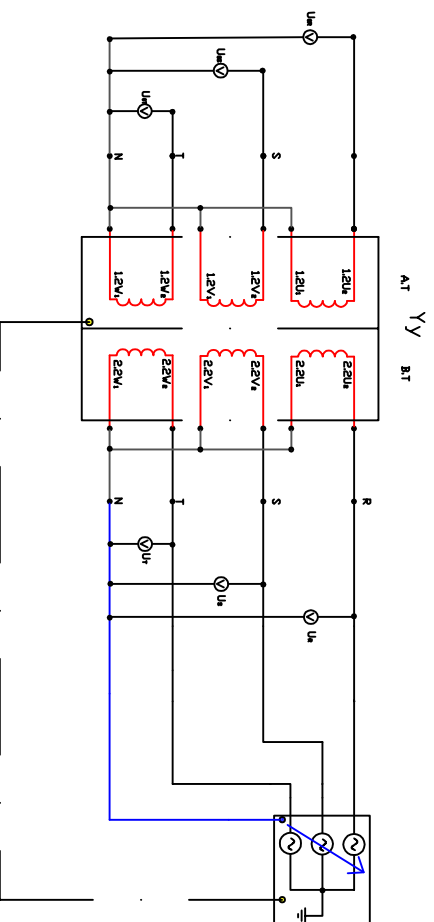
10 de Juny de 2013

Número

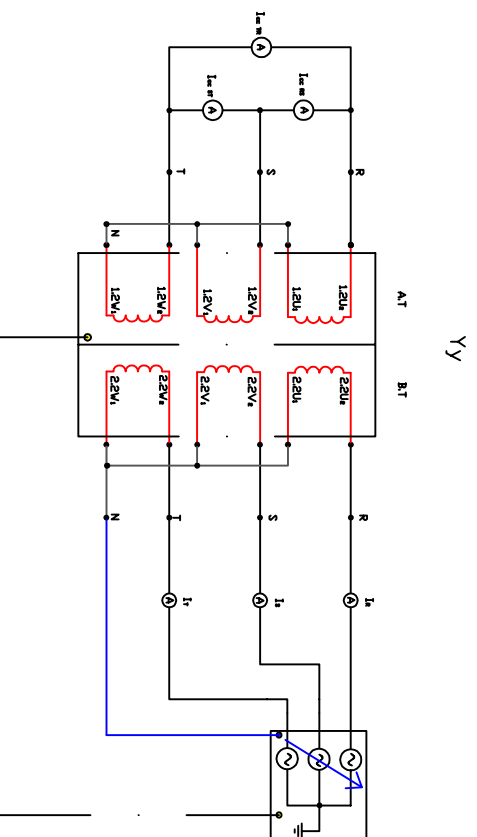
Mesura de la impedància de curtcircuit i de les pèrdues degudes a la càrrega d'un transformador trifàsic. Muntatge realitzat en el laboratori.



Assaig a circuit obert

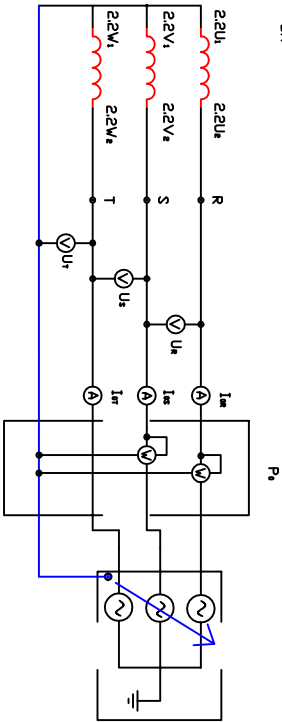
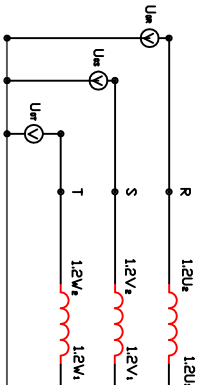


Assaig amb un debanat curt circuitat



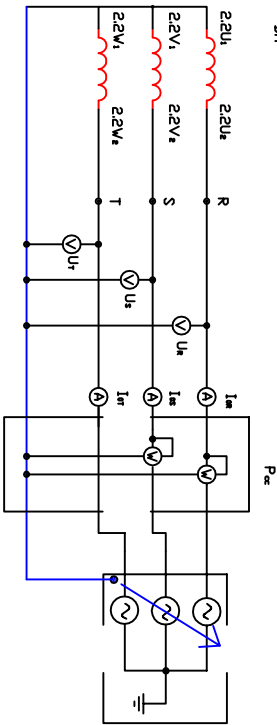
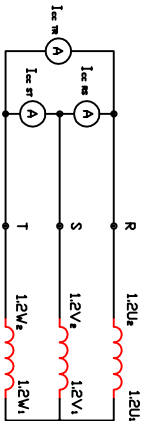
Assaig a circuit obert

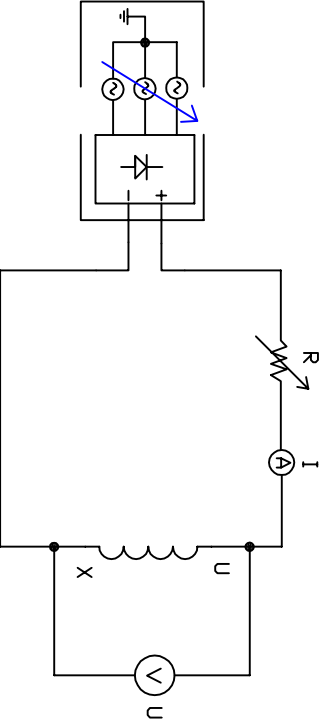
A.T Y B.T



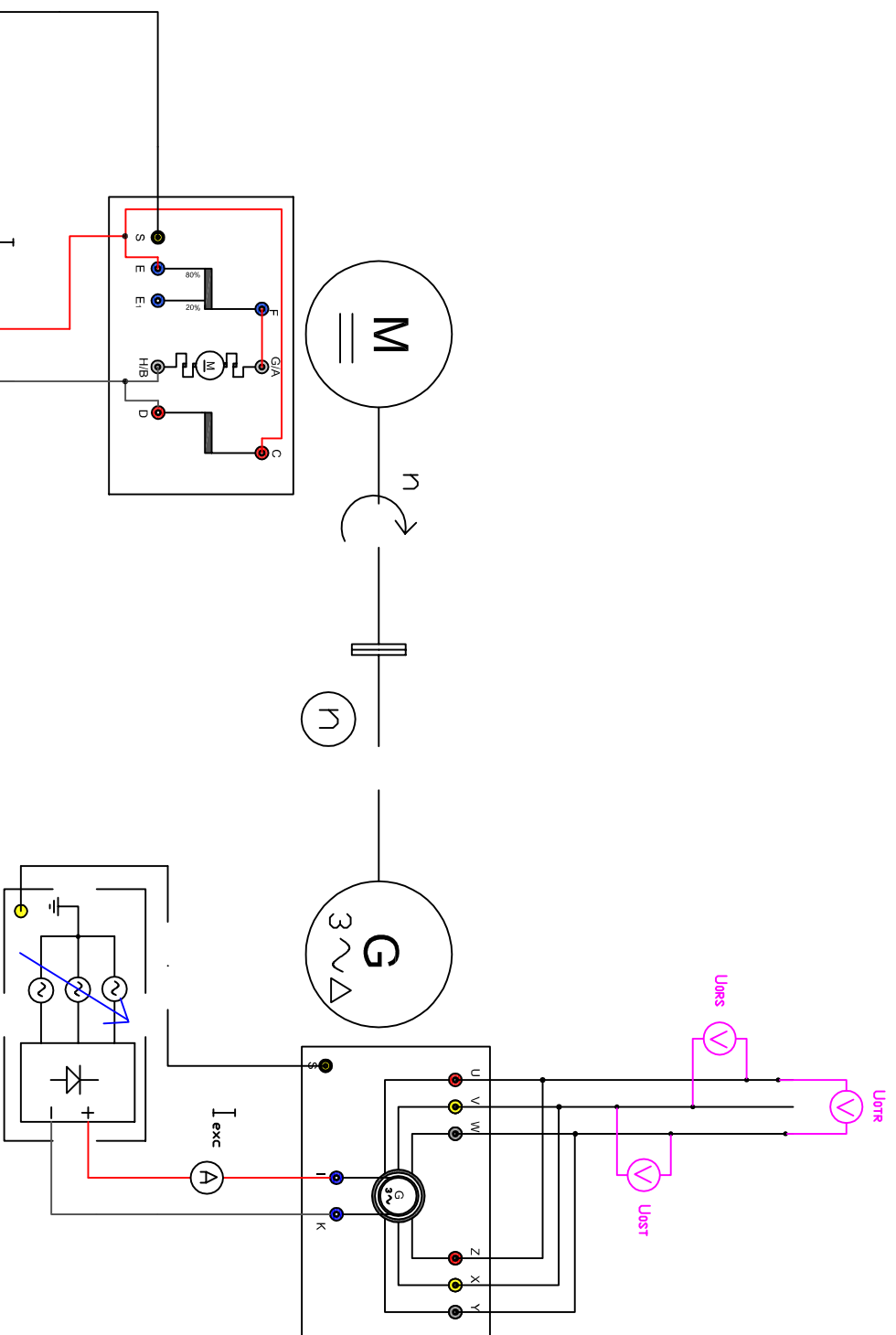
Assaig amb un debanat curtcircuitat

A.T Y B.T





Altres bobines a mesurar	
Induït	Inductor
VY	IK
WZ	



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

Grau en Enginyeria Elèctrica

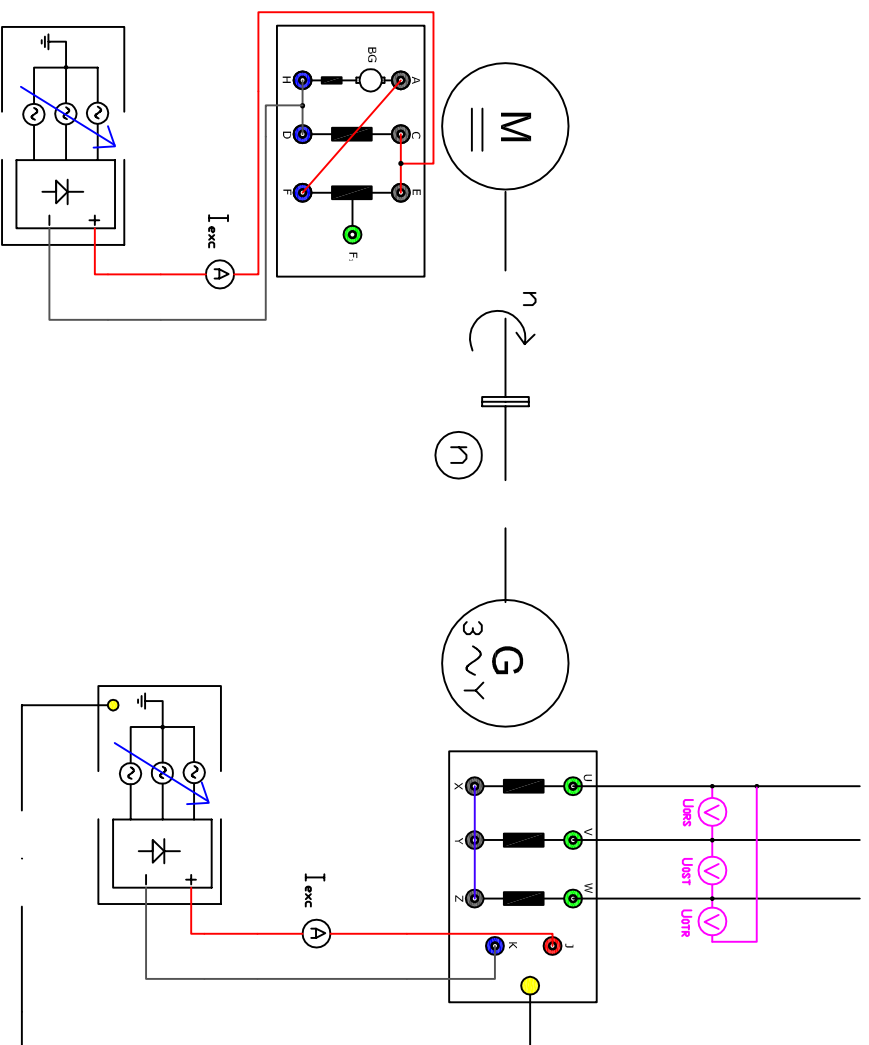


10 de Juny de 2013

Número

17

Assaig a circuit obert d'un generador síncron.
Muntatge realitzat en el laboratori en el
generador AEG Nr 6737939



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

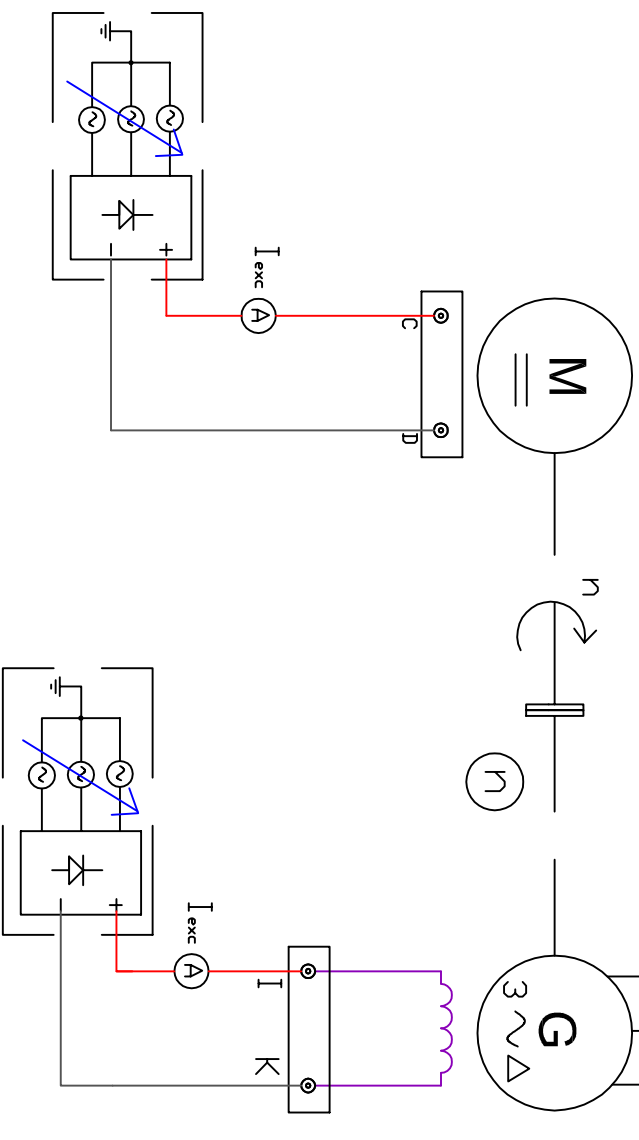
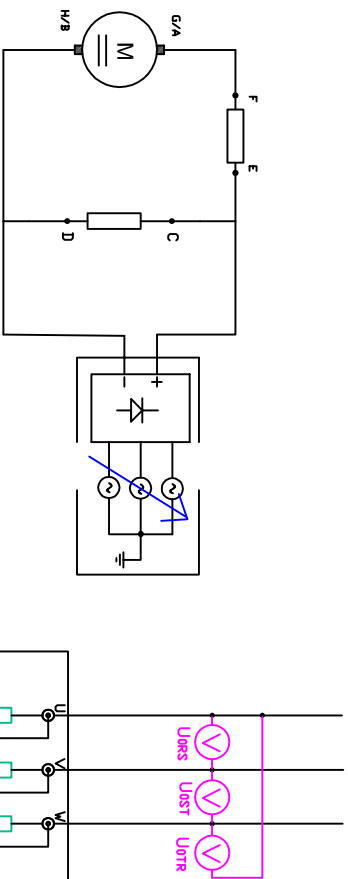
Grau en Enginyeria Elèctrica



10 de Juny de 2013

Número

Assaig a circuit obert d'un generador síncron.
Muntatge realitzat en el laboratori en el
generador Electramolins Nr 2934/75



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

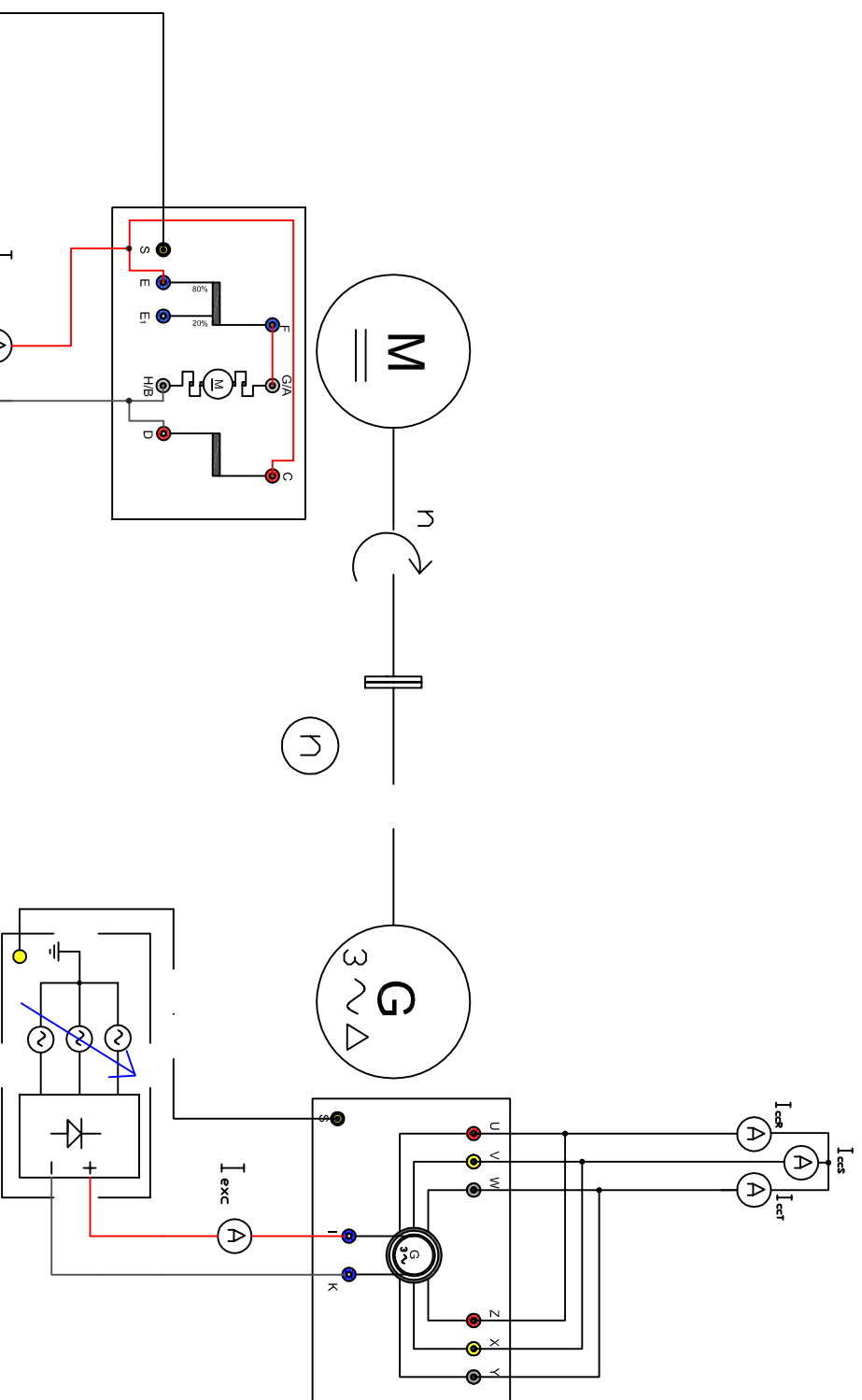
Grau en Enginyeria Elèctrica



10 de Juny de 2013

Número

Assaig a circuit obert d'un generador síncron.
Muntatge segons normativa.



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

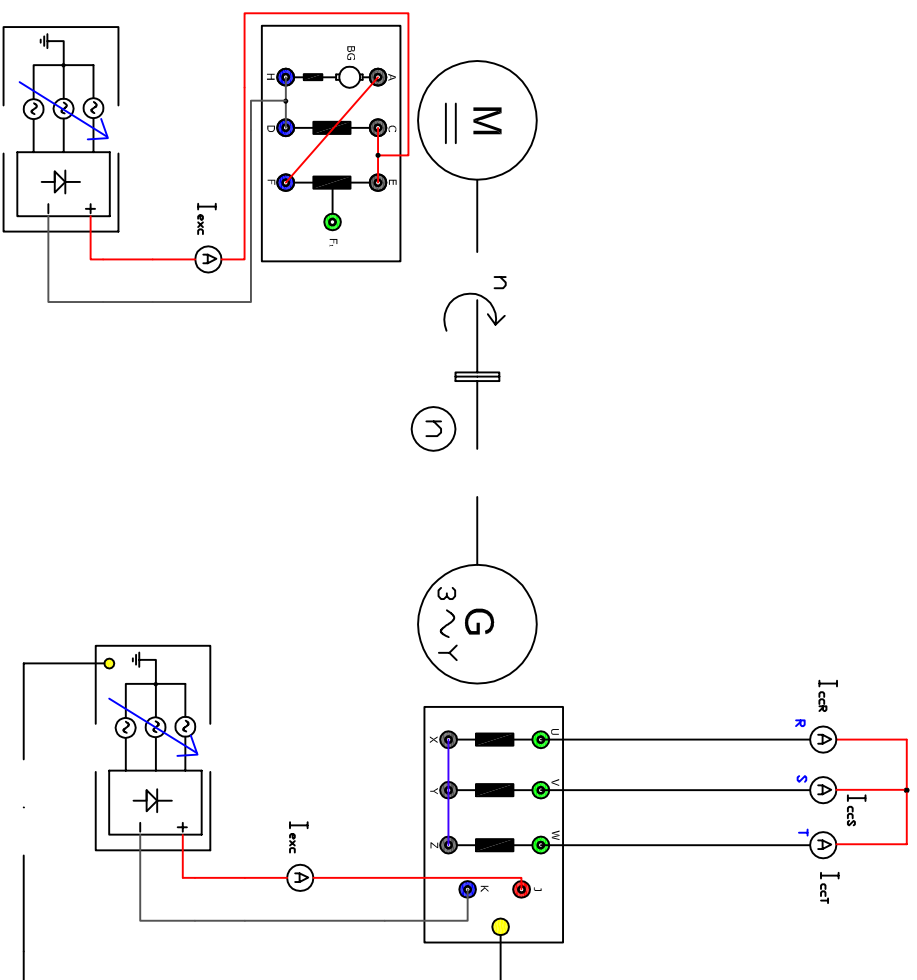
Grau en Enginyeria Elèctrica



10 de Juny de 2013

Número

Assaig de curtcircuit permanent d'un generador síncron. Muntatge realitzat en el laboratori en el generador AEG Nr 6737939



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

Grau en Enginyeria Elèctrica

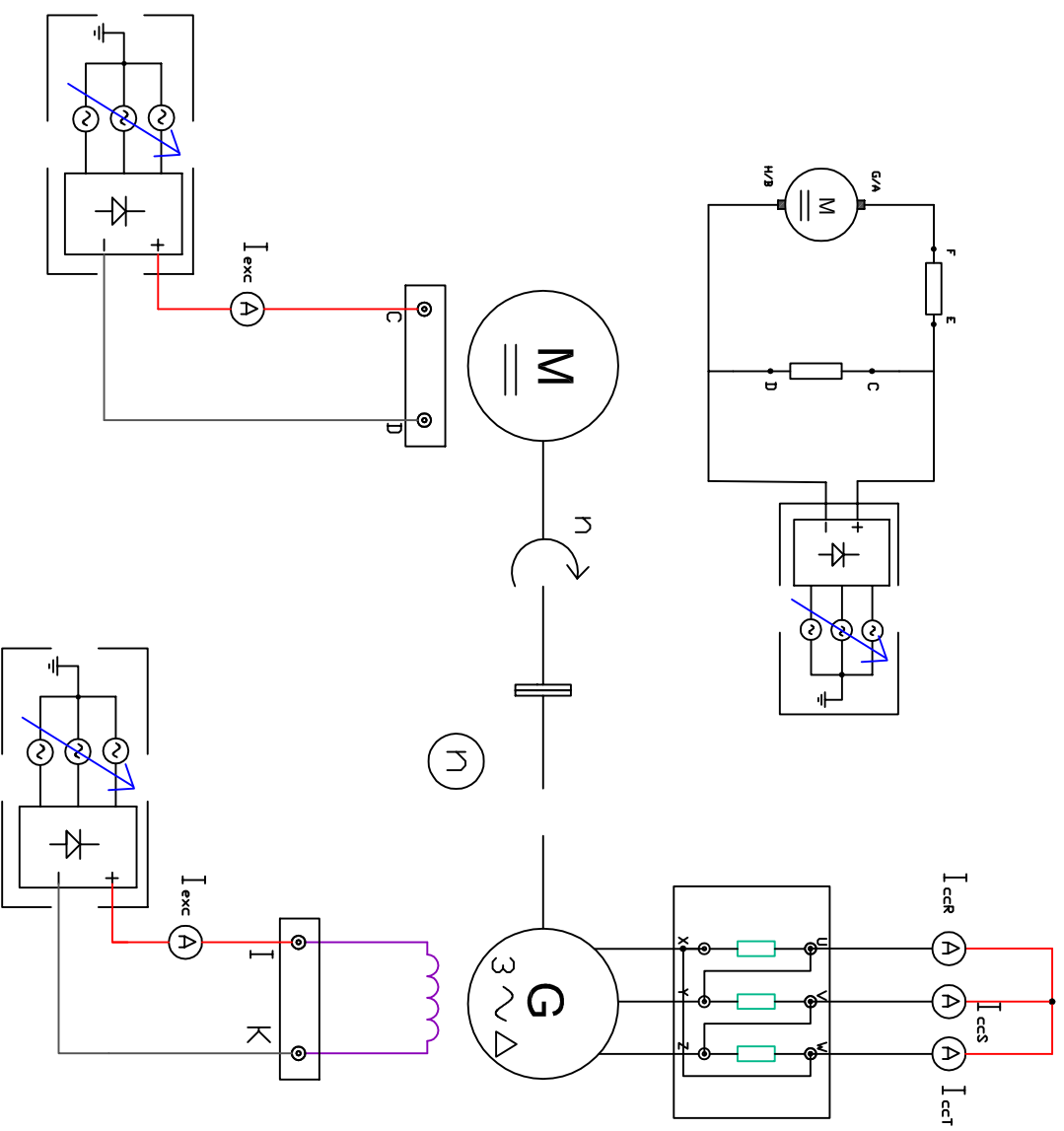


10 de Juny de 2013

Número

Assaig de curtcircuit permanent d'un generador
síncron. Muntatge realitzat en el laboratori en el
generador Electramolins Nr 2934/75

21



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

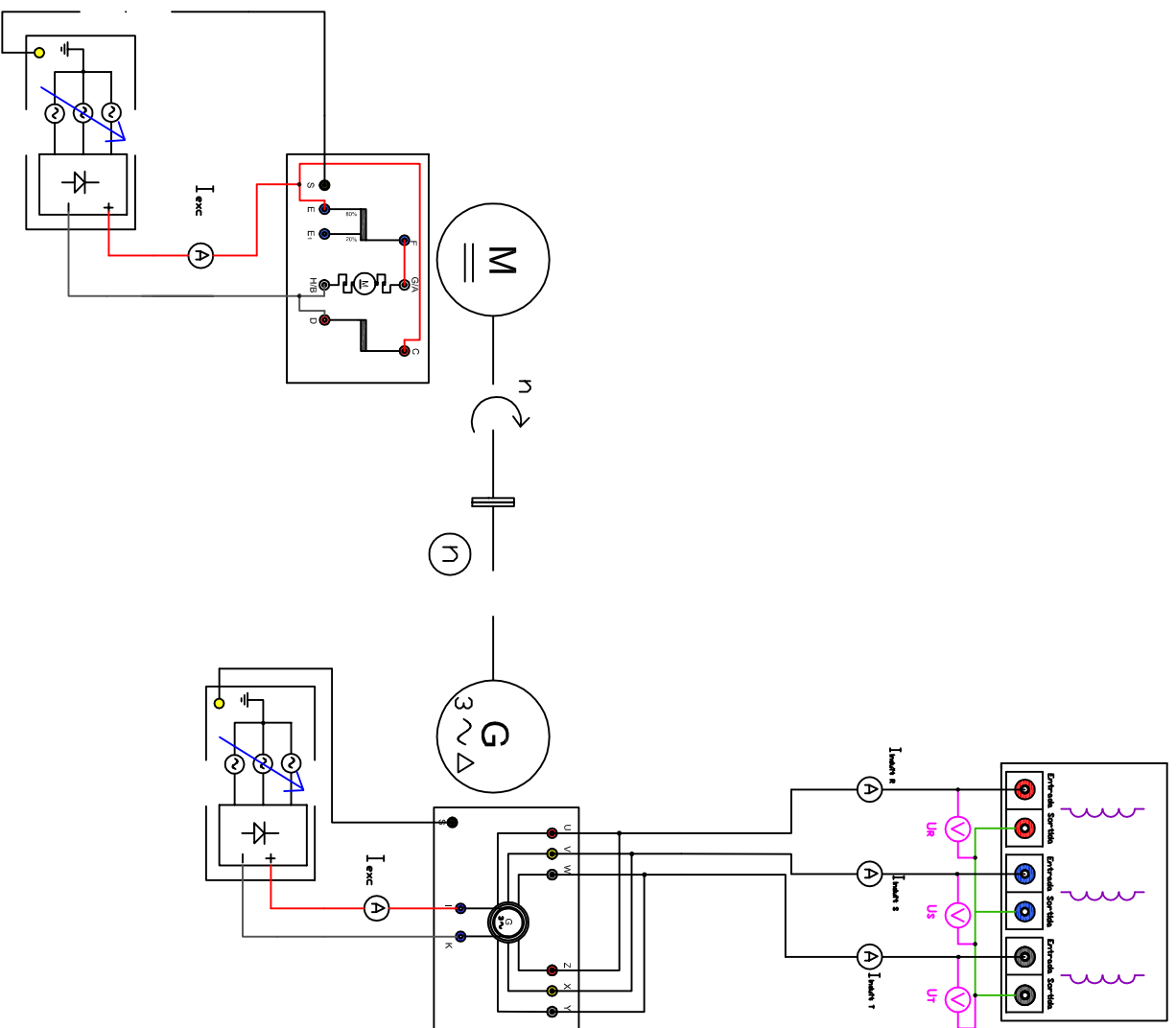
Grau en Enginyeria Elèctrica



10 de Juny de 2013

Número

Assaig de curtcircuit permanent d'un generador síncron. Muntatge segons normativa.



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

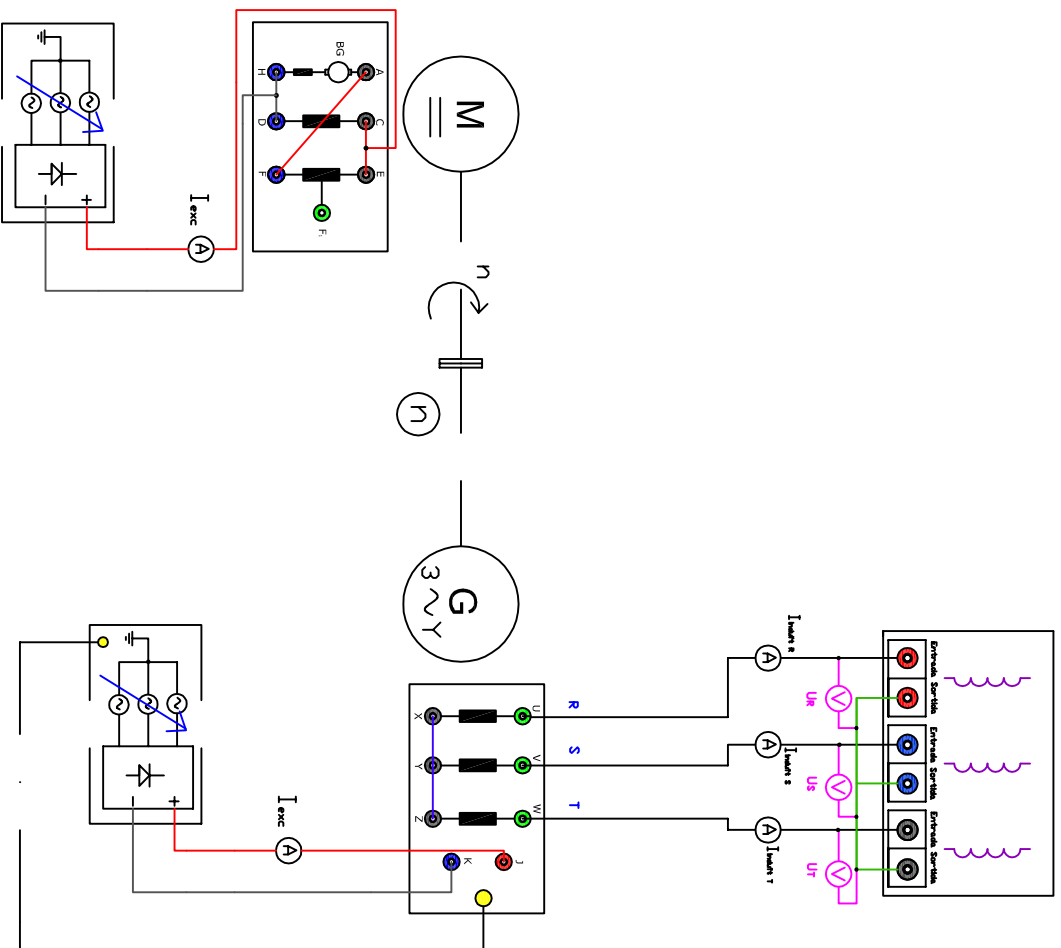
Grau en Enginyeria Elèctrica



10 de Juny de 2013

Número

Assaig amb factor de potència zero d'un generador síncron. Muntatge realitzat en el laboratori en el generador AEG Nr 6737939



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

Grau en Enginyeria Elèctrica

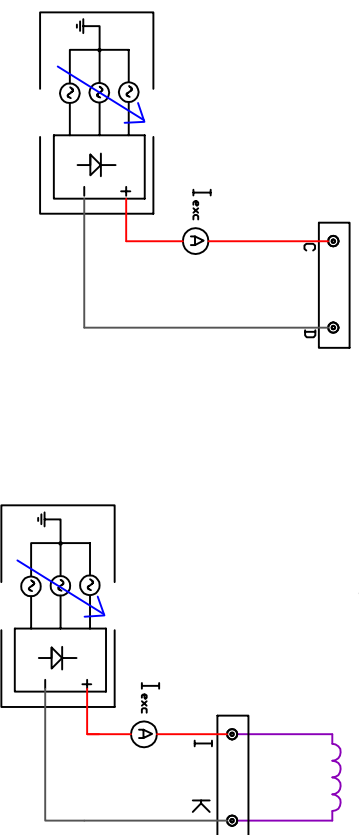
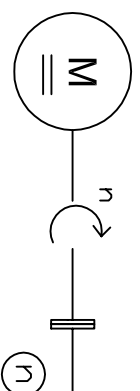
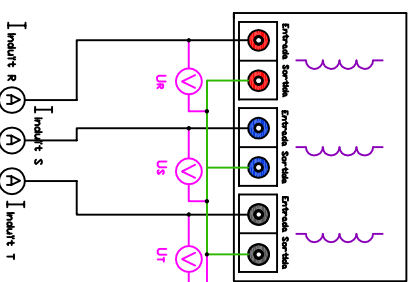
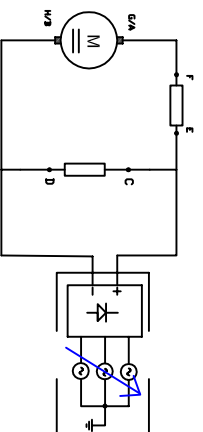


10 de Juny de 2013

Número

Assaig amb factor de potència zero d'un generador síncron. Muntatge realitzat en el laboratori en el generador Electramolins Nr 2934/75.

24



MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

Grau en Enginyeria Elèctrica

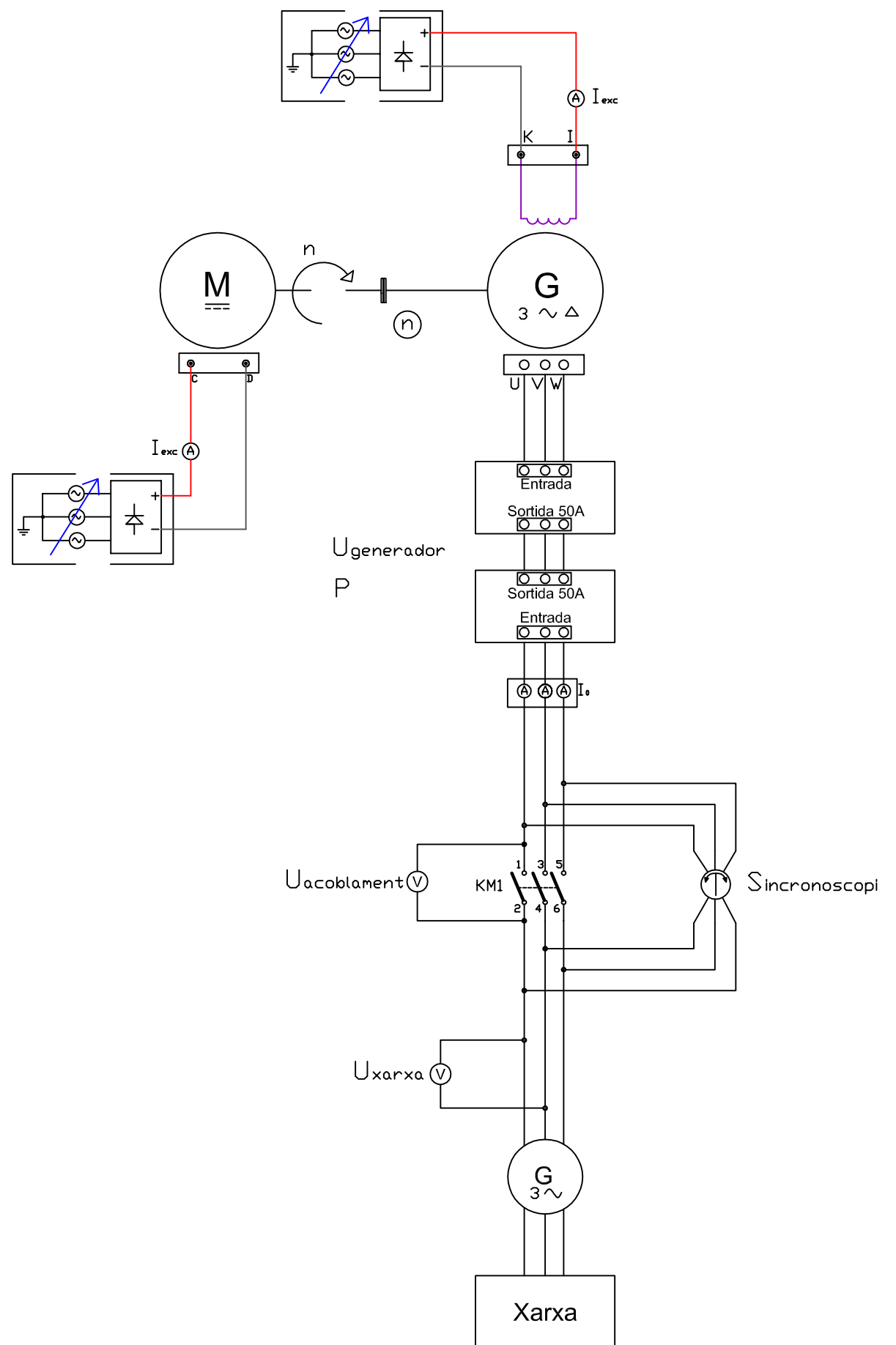


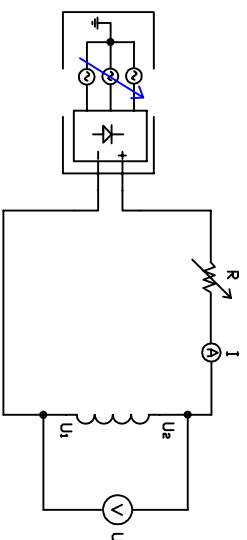
10 de Juny de 2013

Número

Assaig amb factor de potència zero d'un generador síncron. Muntatge segons normativa.

25





Altres bobines a mesurar
$V_2 V_1$
$W_2 W_1$

MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

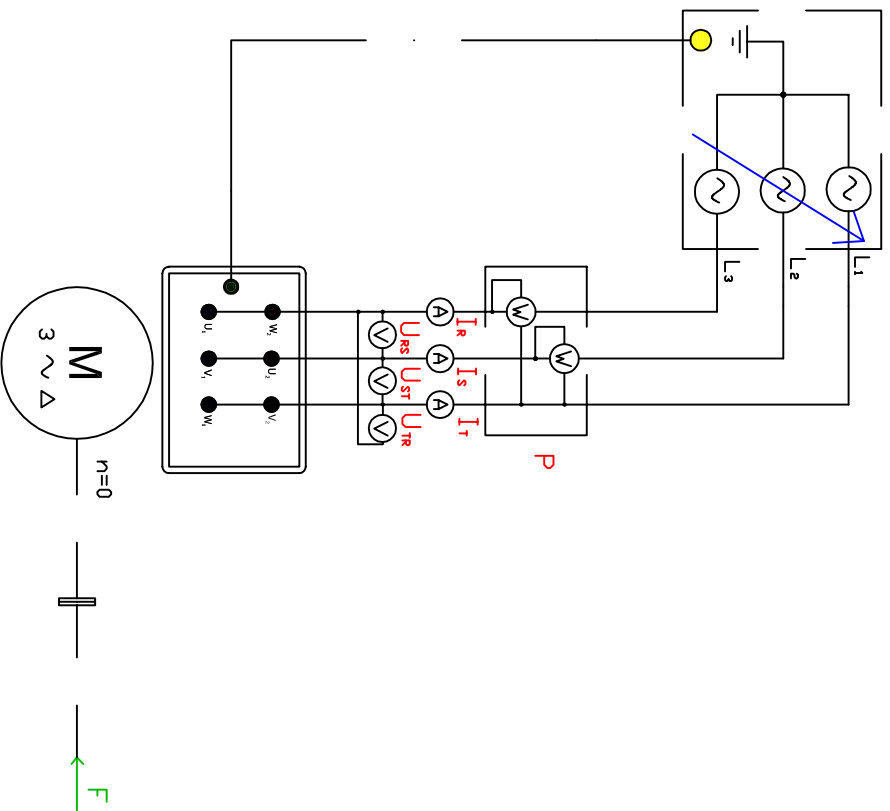
Maria Ortiz Bonet

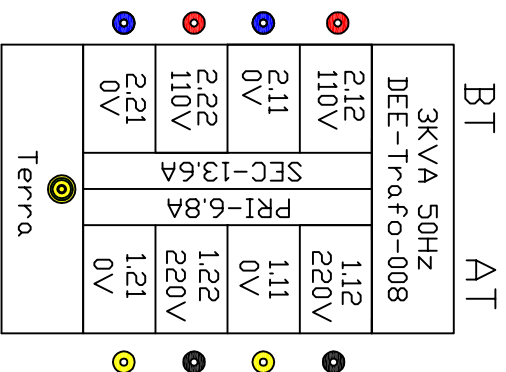
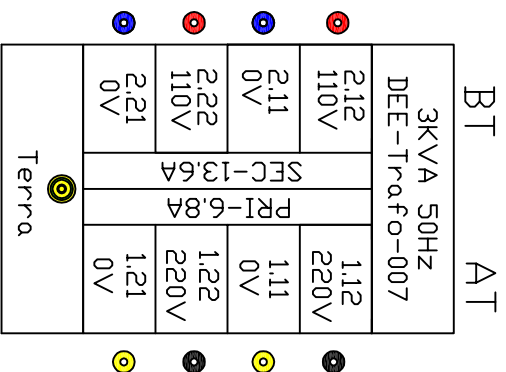
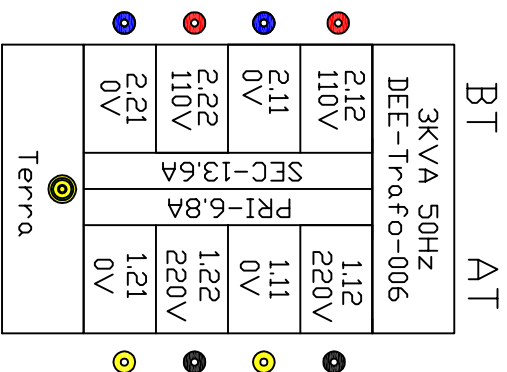
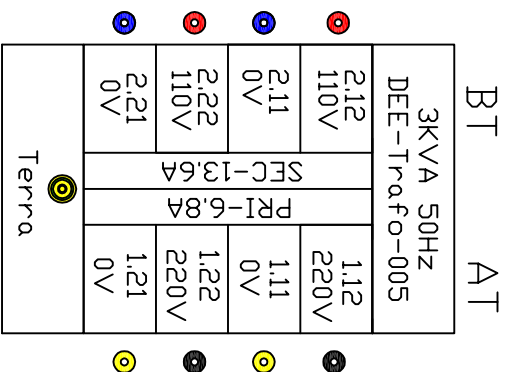
Grau en Enginyeria Elèctrica

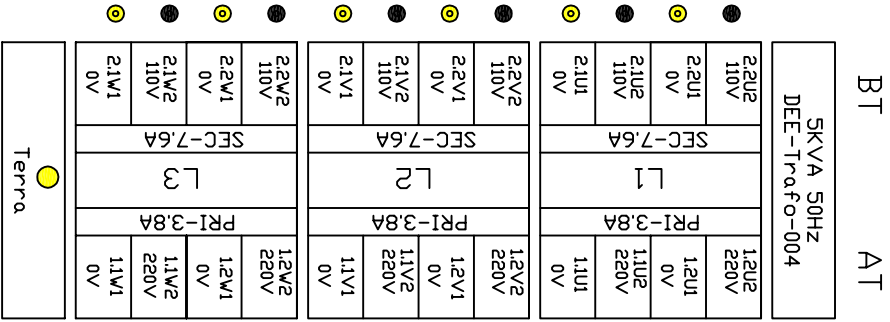
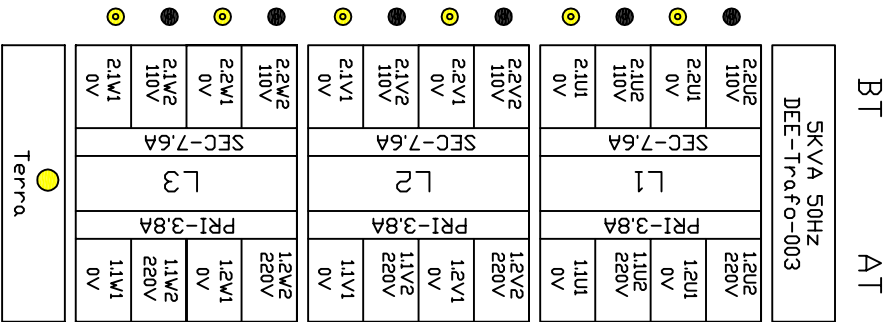
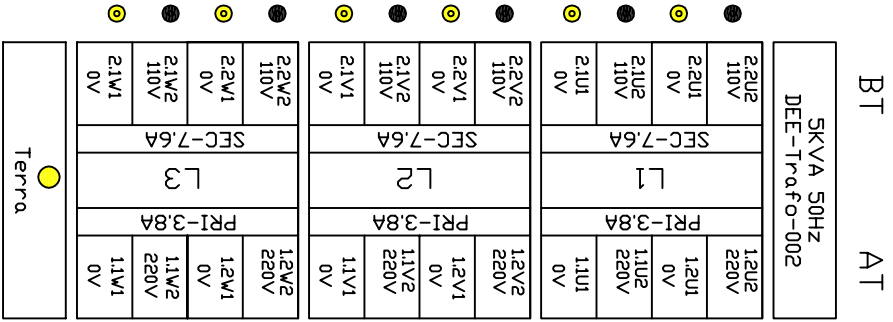
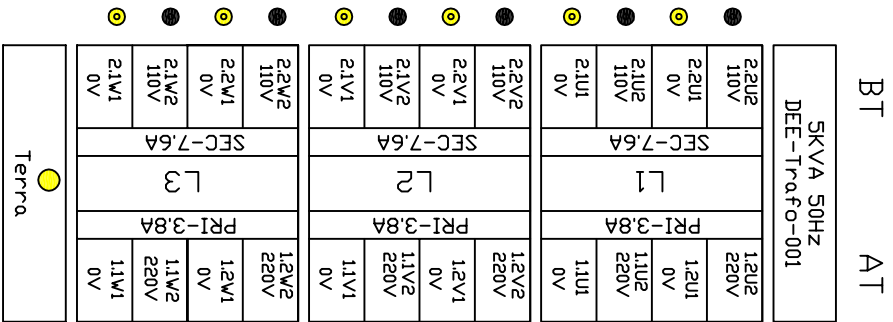


10 de Juny de 2013

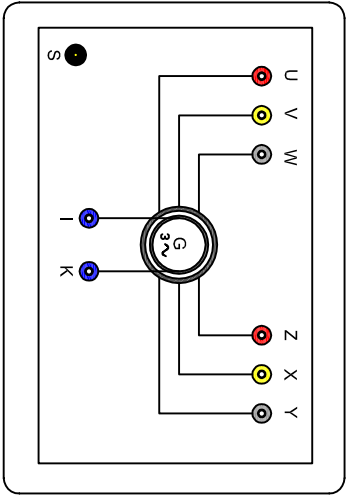
Mesura de les resistències estàtòriques de les màquines asíncrones



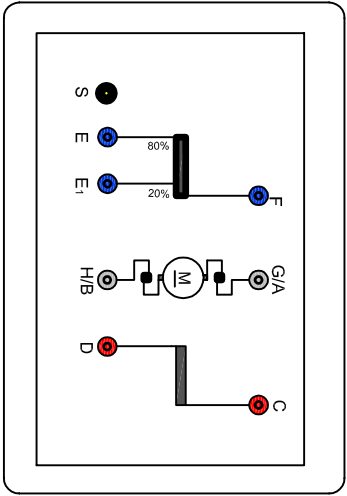




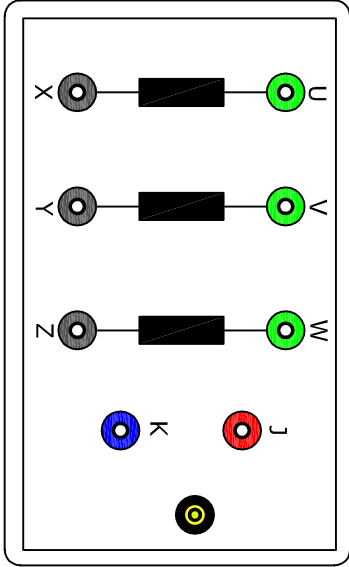
Generador síncron



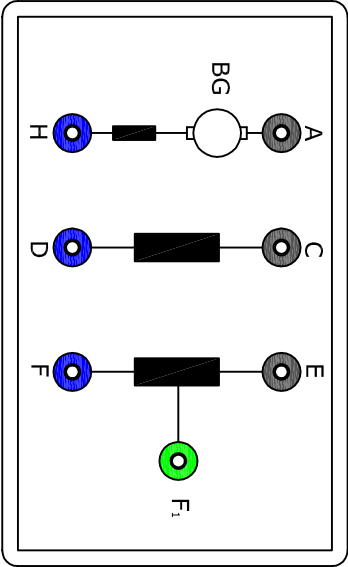
Motor de corrent continu

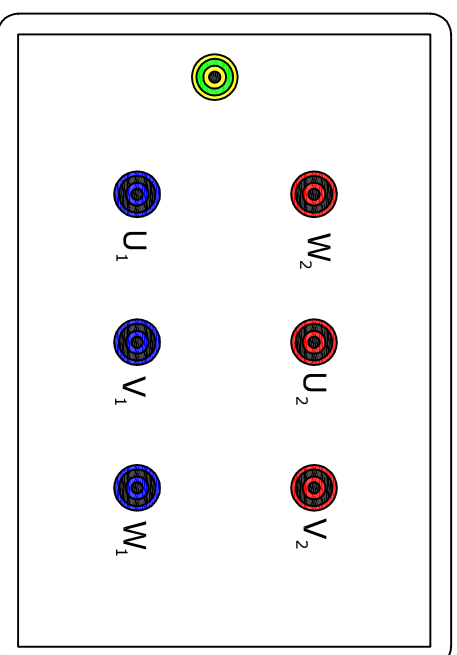


Generador síncron



Motor de corrent continu





Typ		DdSy 150/150-4		
D - Gen		Nr. 6737939		
Δ Y	380/660 V	5.8/3.35 A		
3.8 kW	kVA	cosφ=1,0		
1500	U/min	50	Hz	
Err. 220	V		1.5	A
Isol.-KI	E	P 22	t	
VDE 0530				

Typ		DdSy 150/150-4		
D - Mot		Nr. 6737939		
Δ Y	380/660 V	5.8/3.35 A		
3.8 kW	cosφ=1,0			
1500	U/min	50	Hz	
Err. 220	V		1.5	A
Isol.-KI	E	P 22	t	
VDE 0530				

ALTERNADOR			EXCITATRIZ		
kVA	6.5	Nº	2934/75	V	45
V	230/380	RPM	1500	A	4
A	17/9	Hz	50	Ω	



Tipo AM 80N6				S1
3 ~	Mot	Nr. 585590		
Δ Y	220/380 V	3/1,7 A		
0,75	CV	cosφ		
920	l/min.	50	Hz	
VDE 530/11,72	Aisto.cl.	B	IP	44
4307226				

Tipo AM 80K6				S1
D -	Mot	Nr. 606061		
Δ Y	220/380 V	2,2/1,25 A		
0,5	CV	cosφ		
920	rpm	50	Hz	
VDE 530/1,69	Aisto.cl.	B	IP	44
4307225				

MANUAL D'ASSAIG DE MÀQUINES ELÈCTRIQUES

Maria Ortiz Bonet

Grau en Enginyeria Elèctrica



10 de Juny de 2013

Plaques de característiques de les màquines
asíncrones.

RECOMANACIONS

Segons el problema observat en la relació de transformació del Transformador 003, abans de realitzar qualsevol assaig en un transformador del laboratori, cal observar l'estat dels magnetotèrmics.

Per tal de tenir un bon contacte entre els borns dels aparells de mesura (polímetre o pinça amperimètrica) i els cables del circuit elèctric, cal instal·lar el cable per a polímetre. Aquest s'observa en la següent figura:

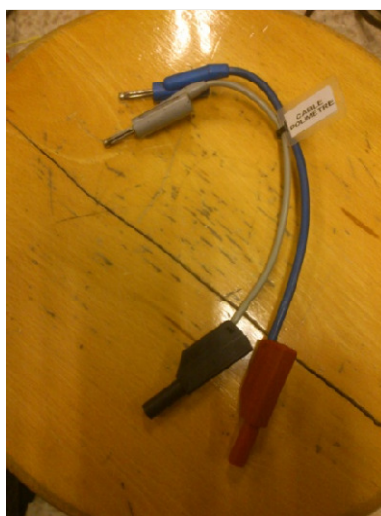


Figura 86. Cable per a polímetre

Quan s'hagi d'emprar el pont de Wheatstone, es necessita un cables per realitzar la mesura. La resistència dels mateixos influeix a l'hora d'obtenir el valor la mesura, per tant cal elegir els cables més curts possibles a fi d'obtenir una bona mesura.

CONCLUSIONS

En la realització del projecte m'he basat en l'aplicació dels coneixements adquirits prèviament a les assignatures de màquines elèctriques i de càlcul i construcció de màquines elèctriques.

En el seu desenvolupament, tots els assajos s'han realitzat amb la combinació de la normativa vigent adaptant-la a les prestacions que ofereix el laboratori de l'escola i s'han assolit de manera satisfactòria els objectius inicials presentats en el mateix.

D'altra banda s'ha detectat una anomalia en el Transformador 3, en el qual hi ha bobines que no compleixen la relació de transformació. Això pot ser degut a una avaria interna de les bobines o que l'interruptor magnetotèrmic per fase s'hagués disparat.

Personalment, realitza aquest projecte m'ha servit per assolir profundament els coneixements previs adquirits i agilitzar la representació de diagrames amb simbologia normalitzada i en la realització dels muntatge en el laboratori.

Amb tot això cal remarcar que en la pràctica s'ha de tenir més paràmetres en compte respecte al treballar de forma matemàtica.

BIBLIOGRAFIA

Fraile Mora, Jesús. Máquinas eléctricas. 6a ed. Madrid: McGraw Hill, 2008. ISBN 9788448161125

Cortés Cherta, Manuel. Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas. Tomo IV: Máquinas sincronas y motores C.A de colector. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1970-1989. ISBN 8471460890.

Ras Oliva, Enrique. Transformadores de potencia, de medida y de protección. 7a ed. Barcelona. Marcombo Boixareu Editores ISBN 8426706908

Sanz Feito, Javier. Máquinas eléctricas. Madrid: Prentice Hall, 2002. ISBN 8420533912.

Chapman, Stephen J. Máquinas eléctricas. Bogotá: McGraw Hill, 1993. ISBN 9586001253

Manzano Orrego, Juan José. Máquinas eléctricas. Madrid: Paraninfo, cop 2008. ISBN 9788497325875

Harel, Ch. Máquinas eléctricas y sus ensayos. Madrid: Dossat, 1962.

Giamberardino, Vincenzo. Teoria de los errores. Editorial Reverté Venezolana, S.A.

Apunts de l'assignatura de Màquines Elèctriques

Apunts de l'assignatura de Càlcul i construcció de màquines elèctriques.

Normativa UNE referenciada en el capítol 5 de la memòria.